

**Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Rok 2013

Pavel Bešta

# **Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program: strojírenská technologie

Zaměření: obrábění a montáž

## **Návrh vzorového postupu pro kalibraci magnetoelastického analyzátoru**

### **Proposal of the standard procedure for calibration of the magnetoelastic analyzer**

**KOM - 1209**

***Pavel Bešta***

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jan Jersák, CSc. (KOM)

Konzultant: Ing. Lucie Vrkoslavová (KOM)

Počet stran:.....55

Počet příloh:.....6

a tabulek:.....15

Počet obrázků:.....33

Počet modelů

nebo jiných příloh:.....0

Datum: 4. 1. 2013

Označení DP : 1209

Řešitel: *Pavel Bešta*

## **NÁVRH VZOROVÉHO POSTUPU PRO KALIBRACI MAGNETOELASTICKÉHO ANALYZÁTORU**

### *ANOTACE:*

Bakalářská práce řeší problematiku výroby souborů etalonů, ověřování etalonů a vzorového postupu kalibračního měření pro magnetoelastického analyzátoru Microscan 600. Dále řeší návrh a výrobu otočného přípravku a boxu pro uchovávání etalonů.

## **PROPOSAL OF THE STANDARD PROCEDURE FOR CALIBRATION OF THE MAGNETOELASTIC ANALYZER**

### *ANNOTATION:*

The thesis solves the problem of production sets of etalons, verification of etalons and standard calibration process of measurement for magnetoelastic analyzer Microscan 600. The thesis also solves design and production of rotary instrument and the box to store etalons.

Klíčová slova: BARKHAUSEN, ZBYTKOVÉ NAPĚTÍ, MICROSCAN 600-1

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2013

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:	55
Počet příloh:	6
Počet obrázků:	33
Počet tabulek:	15
Počet diagramů:	0

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 4. 1. 2013

Podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce panu doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za jeho cenné rady a připomínky při tvorbě bakalářské práce.

Rovněž bych rád poděkoval Ing. Lucii Vrkoslavové za její pomoc při měření, její cenné rady při vytváření bakalářské práce a získávání poznatků z problematiky měření Barkhausenovým šumem.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Miloslavu Ledvinovi za pomoc při návrhu přípravku a pracech v laboratořích katedry obrábění a montáže, panu Ing. Josefu Podkovičákovi za darování tvarových etalonů vyrobené práškovou metalurgií metodou slinování, panu doc. Ing. Karlu Daďourkovi, CSc. za cenné odborné rady, panu Ing. Šťastnému za zapůjčení originálních Stresstech etalonů, Ing. Vlachovi za odborné rady při ověřování zbytkového magnetického pole, společnosti 1. Strojírenská a.s. a svému otci Karlovi Beštovi za pomoc při výrobě otočného přípravku.

Seznam zkratk a symbolů	8
1. Úvod	9
2. Cíle bakalářské práce	10
3. Integrita povrchu	11
3.1 Zbytková napětí	11
3.2 Integrita povrchu v souvislosti k obrábění	13
4. Metody měření zbytkových napětí	14
4.1 Nedestruktivní metody	14
4.1.1 Měření pomocí magnetického pole	14
4.1.2 Měření pomocí vířivých proudů	16
4.1.3 Rentgenová difrakce	17
4.2 Destruktivní metody	18
4.2.1 Mechanické metody měření zbytkových napětí	18
5. Microscan 600-1	20
5.1 Rollscan 300	20
5.2 Microscan software	22
5.3 Návod k obsluze	22
5.4 Denní nastavení	23
5.5 Kalibrace měření	23
6. Metodika pro návrh a ověřování etalonů	26
6.1 Návrh souboru etalonů	26
6.2 Soubor etalonů	27
6.3 Návrh šablon	28
6.4 Definování míst měření	31
6.5 Návrh přípravku a možnosti uchovávání	31
7. Výroba souborů etalonů	34
7.1. Ověření etalonů	34
7.2. Výroba otočného přípravku	36
7.3 Výroba boxu pro uchování etalonů	37
7.4 Výroba šablon	38
8. Ověření etalonů	39
8.1 Stanovení optimálních podmínek měření	39
8.2 Proměření Stresstech vzorků	40
8.3 Měření magnetoelastického parametru	40

8.4 Vyhodnocení naměřených dat	45
8.4.1 Vyhodnocení konfidenčního intervalu naměřených dat	45
8.4.2 Vyhodnocení naměřených dat pomocí grafů	46
8.4.3 Vyhodnocení naměřených etalonů jako celků	47
8.4.4 Ověření naměřených hodnot etalonů	49
9. Závěr	51
Seznam příloh	55

## Seznam zkratk a symbolů

NDT	- (non destructive testing) Nedestruktivní zkoušení materiálu a konstrukcí
MP (mp)	- Magnetoelastický parametr
DSP	- (Digital signal procesor) Numerické zpracování signálu
MVS	- (Magnetizing voltage sweep) Přeběh magnetizačního napětí
MFS	- (Magnetizing frequency sweep) Přeběh magnetizační frekvence
HRC	- Zkouška tvrdosti podle Rockwella



## 1. Úvod

Současný rozvoj techniky je stále více provázen zvyšujícími se požadavky na vysokou jakost strojních součástí, na drsnost povrchu, ale i na rozměrovou a tvarovou přesnost. To vede ke snaze získat souhrnnější představu o kvalitě povrchové vrstvy strojních součástí. Zejména u vysoce namáhaných a dynamicky namáhaných součástí je třeba vyjádřit fyzikální stav povrchu funkčních ploch součástí přesnějším způsobem. Nestačí už jen drsnosti povrchu, ale je třeba brát v potaz i změny struktury, změny mechanických vlastností a stavy napjatosti, které jsou v povrchové vrstvě ovlivňovány druhem zvolené technologie výroby a jejími podmínkami [1].

A právě technologie výroby a její metody umožňují ovlivňovat povrchové vrstvy, a to správnou volbou pracovních podmínek. Uvedenou problematiku je možné řešit ve dvou liniích. Pozorováním vlivů vysoce přesných technologií na jakost povrchové vrstvy a hodnotit je ve vztahu k provozním vlastnostem součástí. Díky těmto poznatkům lze dosáhnout toho, aby byly zvoleny optimální pracovní technologické podmínky a výrobní postupy. Problémem ale zůstává provádění kontrolních zkoušek na určitých typech součástí a materiálech. Takovéto zkoušky jsou velmi náročné, a proto se provádí ověřování zkoušek na vzorcích [8].

Jako jedna z možných metod zjišťování zbytkových napětí se jeví magnetoelastická metoda založená na využití Barkhausenova šumu. Podstata Barkhausenova šumu je známa již od roku 1919, nicméně širší praktické uplatnění nachází až v posledním čtvrtstoletí. Barkhausenův šum vzniká u feromagnetických materiálů při nespojitém pohybu stěn domén na základě vratného a nevratného přemístění stěn magnetických domén nebo náhlým otáčením vektoru magnetizace domény ve vysokých magnetických polích. Tyto pohyby mohou být vyvolány měněním se magnetickým polem u zkoušeného etalonu. Šum lze měřit ve tvaru pulsů, které se indukují v cínce poblíž zkoušeného etalonu [10]. Magnetoelastický parametr se rovná amplitudě Barkhausenova šumu [5].

## **2. Cíle bakalářské práce**

Na katedře obrábění a montáže bylo pořízeno nové zařízení Microscan 600-1, které slouží ke zpracování digitálního signálu Barkhausenova šumu. Barkhausenův šum umožňuje posoudit skupinu parametrů integrity povrchu například po tepelném zpracování nebo obrábění.

Cílem bakalářské práce bude:

- navrhnout a zhotovit sadu etalonů pro přístroj Microscan 600-1,
- navrhnout a zhotovit otočný přípravek umožňující měření magnetoelastického parametru u sady etalonů pod různými úhly,
- navrhnout a zhotovit pomůcky pro stálé měření na definovaných místech etalonů,
- ověřit sadu etalonů,
- navrhnout vzorový postup pro ověření etalonů,
- navrhnout a zhotovit přípravek pro uchovávání sady etalonů.

### 3. Integrita povrchu

Nezbytnost hlubšího studia vlastností povrchu a povrchových vrstev řady technických materiálů, především kovových, vyvolala vznik nových oblastí materiálových inženýrství, označovaných jako „Povrchové inženýrství“. Pro souhrn charakteristik povrchu a povrchových vrstev se začíná v odborné literatuře používat pojem „integrita povrchu“.

Povinnost sledování integrity povrchu nastává zejména u některých technologických postupů, jako je např. aplikace vysokých řezných rychlostí u obrábění či broušení nebo technologií využívajících laseru, plazmatu, svazku elektronů apod. Ve všech těchto případech se obáváme, zda velká energie použitá při vytváření nových povrchů nepoškodí nebo nezmění některé vlastnosti povrchů nebo povrchových vrstev [1].

Na integritu povrchu součásti v průběhu výroby, montáže a používání působí mnoho vlivů, které mohou vést k rozvoji poškození součásti. Tyto vlivy lze rozčlenit na vnější a vnitřní. Vnější vlivy jsou mechanické (provozní napětí), fyzikální (záření, bludné proudy apod.), koroze a kombinace více vlivů na součást (koroze pod napětím, ale i technologické procesy např. obrábění, tváření, tepelné zpracování). Vnitřní vlivy jsou zbytková napětí, drsnost povrchu, heterogenní struktura (uhlík v litině, vměstky), materiálové a mechanické vlastnosti povrchu (zpevnění, tvrdost, povrchová úprava např. vrstvy, povlaky) a přítomnost podpovrchových a povrchových vad [3].

#### 3.1 Zbytková napětí

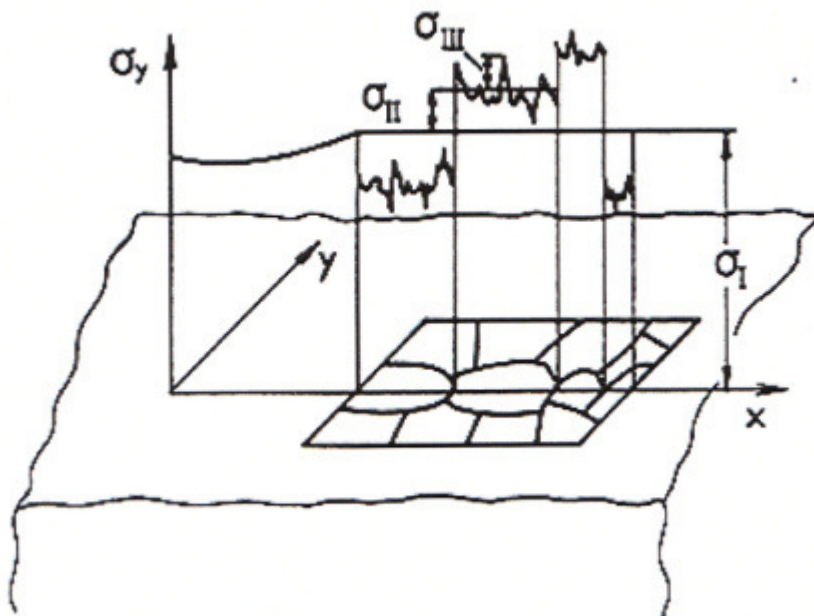
Když i po odstranění vnějšího impulsu část vnitřních napětí v součásti stále setrvává, hovoří se o zbytkovém napětí. Zbytkové napětí je jedním z mnoha druhů, vznikajících z důsledku nehomogenní deformace a můžeme je obecně definovat jako víceosé napětí, působící v součásti po velmi dlouhou dobu přesto, že všechny jeho části mají stejnou teplotu a na součást již nepůsobí žádné vnější síly.

Zbytková napětí jsou rozdělena podle příčin vzniku:

- **deformační zbytková napětí** – např. obráběním jsou povrchové vrstvy deformovány intenzivněji než vnitřní části součásti,
- **strukturální zbytková napětí** – nehomogenní strukturální přeměna je doprovázena objemovými změnami (např. změna austenitu na ferit).

Měření zbytkových napětí můžeme rozdělit na přímá a nepřímá. Používané metody pro jejich měření jsou:

- V současnosti se pro rozdělení zbytkových napětí působících v polykrystalických materiálech užívá jako klasifikační kritérium velikost objemů, ve kterých se napětí nemění ve směru  $\alpha$  a ani ve velikosti na základě tohoto jsou napětí rozdělena.

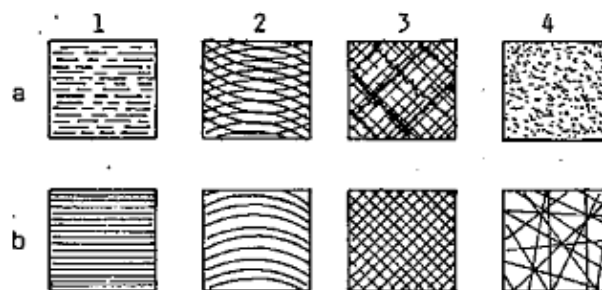


12

- **Zbytková napětí I. druhu (makroskopická)** jsou zhruba homogenní ve velké oblasti (v mnoha krystalcích či zrnech) materiálu. Ve směru svislém k vrstvě jsou přípustné strmé gradienty napětí I. druhu. Vnitřní síly spojené se zbytkovým napětím I. druhu jsou v rovnovážném vztahu v jakémkoliv řezu tělesem. V rovnováze jsou také odpovídající vnitřní momenty, a to vzhledem k libovolné ose procházející uvažovaným tělesem. Při narušení silové a momentové rovnováhy tělesa, ve kterém existuje zbytková napjatost I. druhu, dochází vždy ke změnám makroskopických objemů.
- **Zbytková napětí II. druhu (mikroskopická)** jsou zhruba homogenní v oblastech srovnatelných s rozměrem jednotlivých krystalků. U objemů tvořených vyšším počtem krystalků se předpokládá momentová a silová rovnováha. Narušení rovnovážného stavu nemusí vést ke změnám tvaru tělesa.
- **Zbytková napětí III. druhu (submikroskopická)** jsou nehomogenní i na úrovni meziatomových vzdáleností. Momentové a silové rovnováhy může být docíleno i v dostatečně velkých částech jednoho krystalku. Narušení rovnováhy nevede k žádným změnám tělesa [9].

### 3.2 Integrita povrchu v souvislosti k obrábění

Nároky na geometrickou přesnost, tvar, drsnost povrchu a jakost povrchové vrstvy funkčních povrchů nelze pro většinu strojírenských součástí dosáhnout prvotní výrobní technologií, jako je například tváření. Je třeba ponechat přídavky a odebrat je následným obráběním, takže nově vzniklý povrch je vytvořen vniknutím břitu řezného nástroje do obráběné plochy.



1. broušení obvodem kotouče, 2. broušení čelem kotouče,  
3. honování, 4. lapování, a – b variace procesů.

Obr. 2 Vzhled textury povrchu [1]

Obrobený povrch je z geometrického hlediska obalovou plochou řezné trajektorie jednotlivých bodů břitů nástroje. Z toho vychází, že mikrogeometrie je závislá na tvaru břitů nástroje a relativním pohybu vůči obrobku. Vzory optického vzhledu textury povrchu dosažené rozličnými variantami dokončovacích metod obrábění viz obr. 2. Mikrogeometrie povrchu je charakteristika prostorová, a z toho důvodu ji nelze určit jediným parametrem. V praxi byl tento problém přenesen do roviny a klasifikuje se profil povrchu ve vybraném úseku. Takto definovaná mikrogeometrie povrchu se nazývá drsnost povrchu [1].

#### **4. Metody měření zbytkových napětí**

Zbytkové napětí je možné určovat z makroskopických deformací uvolněných během odstranění objemu, ve kterém napětí působí. Tento princip tvoří základ pro všechny mechanické metody. Dále ze zbytkových deformací v kovové mřížce, na nichž jsou vypracovány rentgenová a neutronová difrakce. Poslední metody měření vychází z napětí ovlivněných různými fyzikálními veličinami, například sonických a magnetických [1].

##### **4.1 Nedestruktivní metody**

Nedestruktivní zkoušení materiálu a konstrukcí (NDT) obsahuje metody pro zkoušení určitého produktu, materiálu nebo systému aniž by ovlivnila jejich budoucí použitelnost nebo ovlivnila schopnost plnit předpokládanou funkci [2].

###### **4.1.1 Měření pomocí magnetického pole**

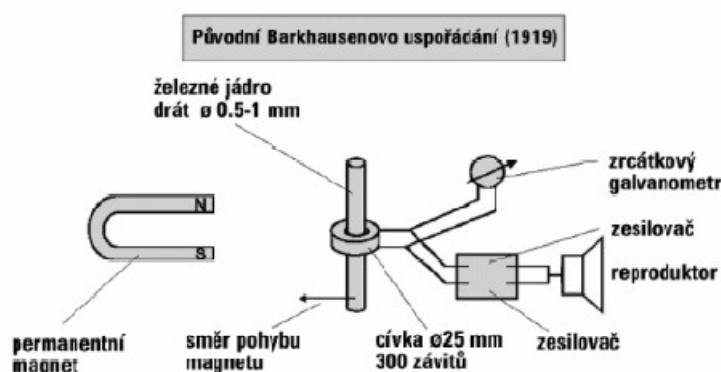
Metoda měření magnetického pole využívá principu Barkhausenova šumu. Jedná se o metodu, která je velmi rychlá, přesná a operativní. Mezi nevýhody patří složitá kalibrace a použitelnost pouze pro feromagnetické materiály. Využívá se vliv vnitřního napětí na tvar magnetické hysterezní smyčky a z její deformace se stanoví hodnota napětí v materiálu. Účinkem napětí v materiálu se tvar smyčky mění a amplituda šumu je závislá i na tvrdosti materiálu [3].

###### **4.1.1.1 Barkhausenův šum**

Jev Barkhausenova šumu byl poprvé popsán v roce 1919. Název původní práce, kde byl tento jev poprvé popsán, zní ve volném překladu „Dvě pozoruhodnosti objevené pomocí

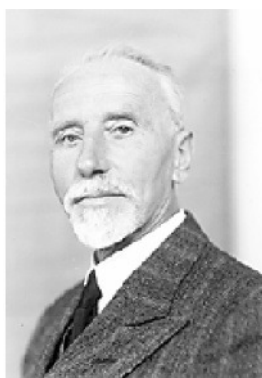
nového zesilovače“. Uspořádání použité profesorem Barkhausenem je na následujícím obr. 3[3].

Při přiblížení či oddálení magnetu od jádra je v reproduktoru slyšitelné praskání. Tento šum, jak odhalil paralelní vývoj kvantové mechaniky v té době, souvisí s nespojitostmi v procesu magnetizace feromagnetika. Časem se ukázalo, že efekt je závislý na tvrdosti ocelového jádra v cívce (se zvyšující tvrdostí intenzita praskání klesá). Dále bylo objeveno, že tahové napětí ve směru magnetizace stimuluje výrazné praskání, zatímco tlakové napětí působí naopak. Tento pokus dokázal, že magnetizační proces, který je charakterizován hysterezní

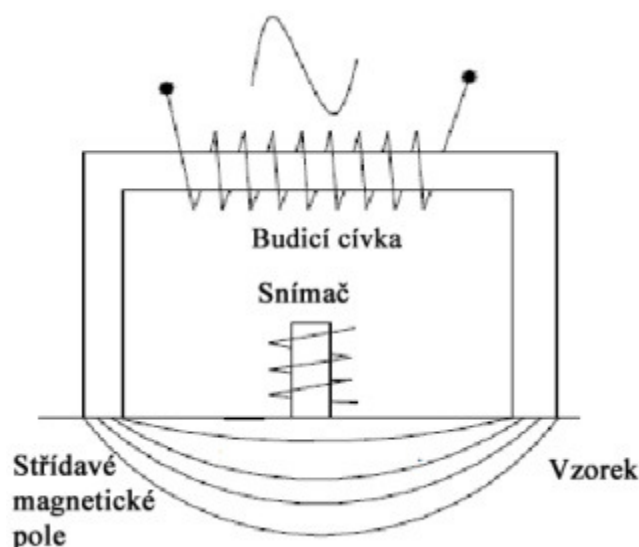


Obr. 3 Původní Barkhausenovo uspořádání (1919) [5]

smyčkou, ve skutečnosti není spojitý, ale je tvořen malými skoky, vzniklými pohybem magnetických domén v důsledku vnějšího magnetického pole. Díky rozvoji elektroniky koncem sedmdesátých let měli tyto skutečnosti za následek, že se z fyzikální pozoruhodnosti stala průmyslově využívaná metoda určená k detekování strukturních a napěťových změn v materiálech. Významná strukturní i napěťová závislost jevu je používána k vyhodnocování integrity povrchu po tepelném zpracování nebo po obrábění [5].



Obr. 4 Prof. Heinrich Georg Barkhausen [5]



Obr. 5 Schéma principu snímače [3]

#### 4.1.1.2 Princip Barkhausenova šumu

Feromagnetické materiály si můžeme představit jako uspořádání malých magnetických oblastí podobných tyčovým magnetům, které nazýváme domény. Domény se magnetizují podél některých krystalograficky vyznačených směrů a jsou odděleny hranicemi, které nazýváme doménové (Blochovy) stěny. Vnější magnetické pole vyvolává pohyb doménových stěn. Aby se doménová stěna mohla pohnout, je potřeba, aby se doména na jedné straně zvětšila a na druhé straně smrštila. Výsledným efektem je pak změna v celkové magnetizaci vzorku. Nachází-li se v blízkosti vzorku cívka z vodivého drátu, když se doménová stěna pohybuje, probíhající změna magnetizace vzorku indukuje v cívkce elektrický puls [6].

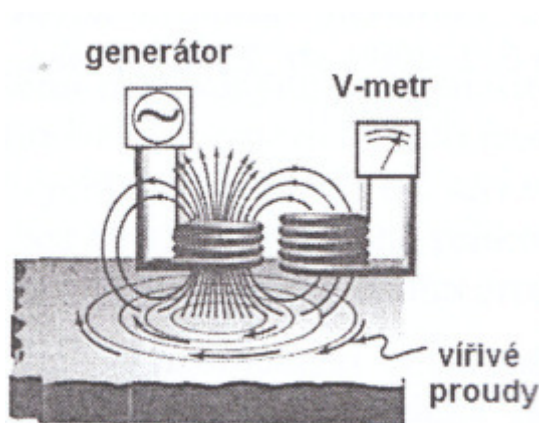
Pro většinu feromagnetických materiálů má Barkhausenův šum frekvenční rozsah na začínajícím kmitočtu a koncovou hodnotu zhruba na 250 kHz. Vlivem na vzdálenosti, kterým signál procházel uvnitř materiálu je exponenciálně tlumen. Vířivé proudy indukované při šíření signálu vznikajícího pohybem domén jsou hlavní příčinou tlumení. Magnetoelastický parametr se rovná amplitudě Barkhausenova šumu[5].

#### 4.1.2 Měření pomocí vířivých proudů

Použití při vyšším stupni magnetizace, kterými měříme změny v elektrické vodivosti nebo magnetické permeability, která souvisí se strukturními nehomogenitami v materiálech. V materiálu dochází k disperzi magnetického pole. Disperze je způsobena stavem napjatosti, strukturou apod. Umožňuje nám změřit lokální změny napětí a určit polohu např.: nehomoge-



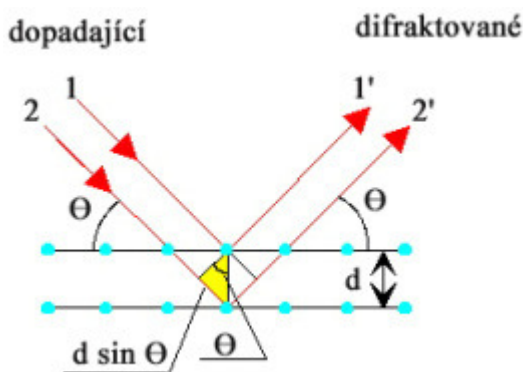
nit. Mezi výhody této metody patří velká citlivost na strukturu a schopnost měřit neferomagnetické materiály. Nevýhodami jsou nákladnost metody, nejednoznačné výsledky a neumožňuje změnu směru napětí [4].



Obr. 6 Schéma principu metody vířivých proudů [2]

#### 4.1.3 Rentgenová difrakce

Rentgenová difrakce pracuje na principu rozptylu rentgenových paprsků na krystalech materiálů, kterým měříme mezi-rovinnou vzdálenost  $d$ , jež porovnáváme s mezi-rovinnou vzdáleností nedeformované mřížky. Vycházíme ze vztahů z teorie elasticity. Během ozáření mřížky dojde při dosažení příznivého směru paprsků k mřížce k rozptylu (difrakci) a ke vzniku interferenčního maxima ve směru  $\Theta$  [3].



Obr. 7 Rozptyl rentgenového záření [7]

Metoda umožňuje měřit napětí I. II. i III. druhu, stanovit napětí na jednotlivých fázích, proměření velmi nehomogenních napěťových polí, měřit distorzi z několika směrů a měřit

z plošného obsahu v řádech mm. Rentgenovou difrakci nelze použít pro měření amorfních materiálů, mnohé materiály dávají velmi neostrá difrakční maxima a přesnost měření klesá se zvětšujícími se zrny materiálu. Metodu lze provádět pouze k měření elastické deformace [4].

## **4.2 Destruktivní metody**

Obsahuje metody pro zkoušení určitého produktu nebo materiálu nebo systému bez ohledu na to, jestli ovlivní jejich budoucí použitelnost nebo schopnost plnit předpokládanou funkci.

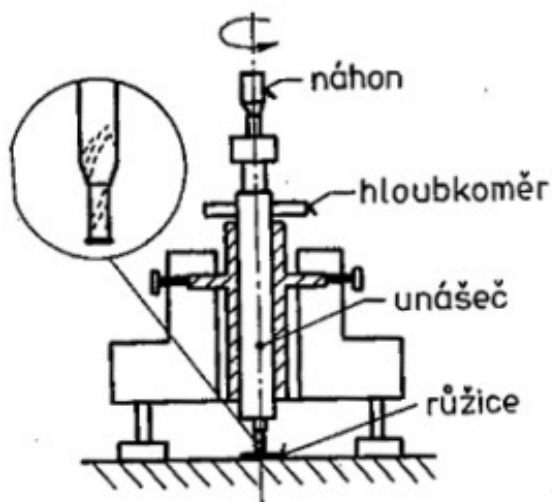
### **4.2.1 Mechanické metody měření zbytkových napětí**

Mechanická metoda je dosud asi nejčastěji používaný postup měření zbytkových napětí a za určitých okolností i nejpřesnější. Princip metody se zakládá na tom, že zbytkové napětí se definuje na základě deformace vzorku, která vznikne po odebrání povrchové vrstvy materiálu. Velikost deformace je úměrná napětí, které se nacházelo v odebrané vrstvě. Víme-li tloušťku této vrstvy, deformaci etalonu a modul pružnosti materiálu, je možné na základě klasické teorie pružnosti vypočítat napětí v jedné, nebo i v dalších postupně odebíraných vrstvách. Ze získaných hodnot deformace v jednom nebo více směrech lze definovat jedno nebo víceosou napjatost. Získané výsledky jsou tak přesné, jak přesně se podaří určit deformaci zkušební etalonu a odpovídající tloušťku odebrané vrstvy. Hlavní nevýhodou je to, že definuje pouze napětí I. druhu, a to jeho průměrnou hodnotu po celém průřezu a délce odebrané vrstvy. Je-li vysoký gradient ve zbytkovém napětí, získáváme rozdílné hodnoty podle toho, pro jakou tloušťku odebrané vrstvy měříme deformaci. Výhodou mechanické metody je, že umožňuje určování napětí, kde například rentgenová metoda selhává, dále při pečlivém provedení je oproti jiným metodám přesnější a někdy i rychlejší [1].

#### **4.2.1.1 Metoda odvrtávání**

Pracuje na principu vyvrtávání otvorů do součásti se zbytkovým napětím. Odvrtáním kusu součásti dochází k uvolnění části napětí, součást reaguje změnou deformace, kterou měříme tenzometricky. Dle směru deformace se stanoví směr a přibližně i velikost napětí. Tato

metoda umožňuje měření povrchových i objemových napětí v pásmu dané velikostí tenzometru. Použití metody je limitováno teplotou, při které je tenzometr schopen fungovat[4].



Obr.8 Schéma zařízení pro stanovení podpovrchových  
zbytkových napětí metodou odvrtávání [3]

## 5. Microscan 600-1

Microscan 600 je systém, který využívá zařízení Rollscan300 pro měření signálu Barkhausenova šumu. Systém je založený na zpracování digitálního signálu tak, aby se zvýšily limity Barkhausenova šumu pro pokročilé výzkumné práce. Dále poskytuje širokou škálu uživatelem definovatelných měření a analýzy parametrů, což umožňuje přizpůsobení systému prakticky jakýmkoliv zkušebními podmínkám. Mezi typické aplikace pro Microscan 600-1 patří posouzení (korelace) různých mikrostruktur parametry Barkhausenova šumu či odhad veličin, jako jsou napětí, tvrdost a plastická deformace. Systém obsahuje mikropočítač se síťovým rozhraním Rollscan 300, snímače a software MicroScan pro sběr dat, kontrolní měření, ukládání a načítání dat do nebo ze souborů, výpočty, zobrazení a tisk výsledků testů[11].



Obr. 9 Sestava Microscan 600-1 [11]

### 5.1 Rollscan 300

Rollscan 300 je digitální analyzátor využívající jev Barkhausenova šumu. Analyzátor slouží pro kontrolu kvality povrchu a povrchových vad pomocí sledování změn napětí

v mikrostruktuře v široké řadě strojírenských feromagnetických materiálů. Kontrola za pomoci Rollscanu 300 je velmi rychlá. Může se lehce přizpůsobit rychlosti výroby většiny výrobních linek a umožňuje okamžitou kontrolu kvality součástí. Rollscan 300 je také velmi flexibilní díky široké paletě dostupných snímačů. Pomocí zařízení Rollscan 300 je možné úspěšně zkoušet pístní čepy, ozubení, ložiskové kroužky a válečky, vačkové a klikové hřídele, díly leteckých podvozků a mnoho dalších součástí.

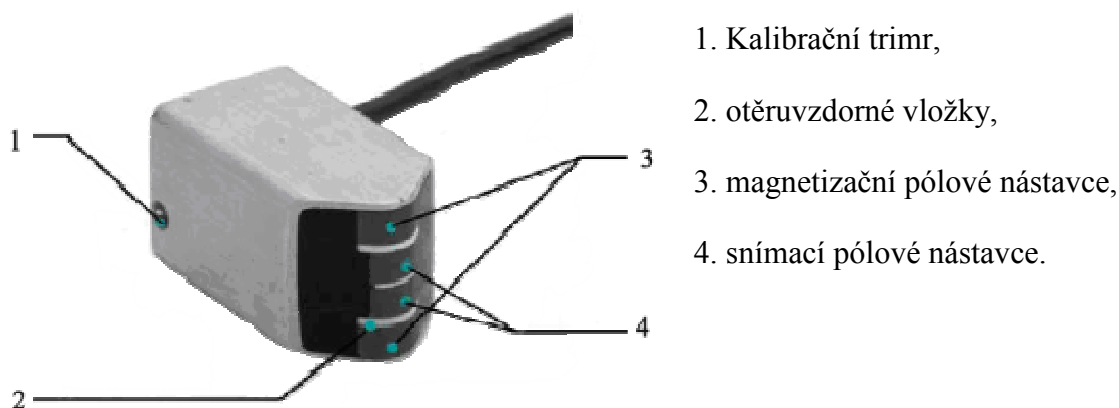
Primární systém Rollscan 300 obsahuje hlavní analytickou jednotku a snímač a vyhodnocuje měřicí signály digitálně pomocí signálového procesoru (DSP). Komunikace, grafické uživatelské rozhraní, RS-232 a ethernetové připojení jsou řízeny PC kartou, využívající operační systém Linux. Analytická jednotka může být vybavena libovolnou napájecí jednotkou a akumulátorem. Během provozu pouze přes akumulátor není funkčnost přístroje nikterak omezena.

Ovládací panel hlavní jednotky Rollscan 300 zahrnuje šest funkčních kláves pro výběr oken a funkcí a ovládací kolečko pro seřízení hodnot parametrů. Na čelním panelu se nachází dvě kontrolky. Zelená „Power“ označuje, zda je zařízení zapnuto. Žlutá „Mains“ svítí, když je napájecí šňůra připojena do síťové zásuvky.



Obr. 10 Čelní panel Rollscan 300 [11]

Snímače Barkhausenova šumu jsou konstruovány pro měření jak statické, tak i dynamické. Mohou být využity pro kontrolu kvality, měření zbytkového napětí a dále pro kontrolu chyb v tepelném zpracování. Snímač obsahuje několik základních částí: snímací póly, magnetizační póly, trimr, konektory a krytky. Magnetizační a snímací póly mohou být pevné nebo zaměnitelné [10].



Obr. 11 Snímač Barkhausenova šumu

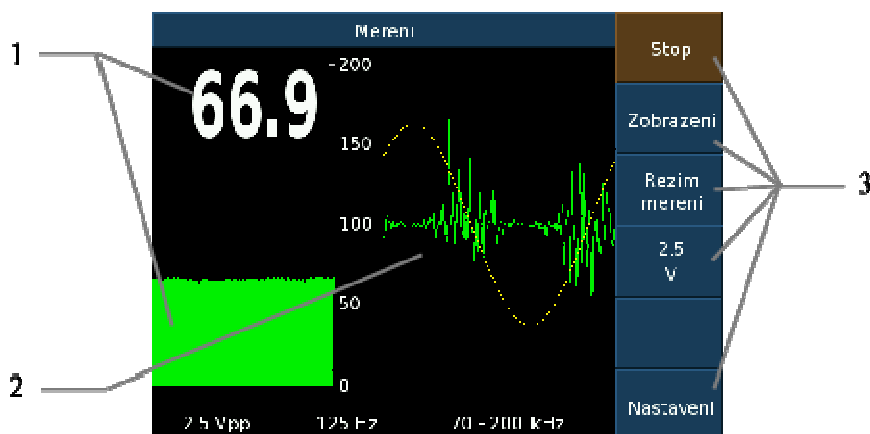
## 5.2 Microscan software

MicroScan je software, který se využívá pro zpracování dat z přístroje Rollscan 300 a poskytuje širokou škálu uživatelem definovaných měření a analýz parametrů. Systém umožňuje porovnat více měření současně a přidává následující funkce pro Rollscan 300 [11]:

- frekvenční filtr s rozsahem 3-1000 kHz,
- možnost nastavení magnetizačního frekvenčního rozsahu v rozmezí 6-1000 Hz
- počet záblesků nastavitelných 2-20.

## 5.3 Návod k obsluze

Pro obsluhu přístroje je nutné nejdříve připojit snímač a zapnout přístroj. Poté, co se rozsvítí zelená kontrolka „Power“, zobrazí se obrazovka měření (obr. 12) a zařízení je připraveno k provozu. Před začátkem měření je třeba zkontrolovat vzorek, zda na něm nejsou nečistoty, např. prach nebo kovové třísky z broušení. Vzorek je případně nutné před měřením očistit kusem látky. Povrch vzorku může být potřen slabou vrstvou oleje. Dále je třeba dbát na dostatek místa mezi počítačem a přístrojem Rollscan 300 (alespoň 500 mm), jelikož elektrická zařízení způsobují elektromagnetická rušení. Následně je třeba vyhodnotit zbytkovou magnetizaci měřeného dílu, která může ovlivnit měření Barkhausenova šumu a v případě potřeby použít demagnetizaci.



1. Hodnota magnetoelastického parametru,
2. Barkhausenův šum, 3. funkční klávesy.

Obr. 12 Zobrazení měření Rollscan 300 [11]

Měření Barkhausenova šumu se provádí přiložením snímače na vzorek. Je nutné zajistit dobrý kontakt mezi pólovými nástavci a testovaným povrchem. Výsledek měření se okamžitě po přiložení ke vzorku objeví na displeji analyzátoru Rollscan 300. Při užívání snímače je nutné dát pozor na kabel snímače a vyhnout se ostrému ohýbání [10].

#### 5.4 Denní nastavení

Denní nastavení slouží k odhalení možných komplikací a ověření stability analytického systému. K tomu slouží měření etalonů se známými hodnotami Barkhausenova šumu. Proto je vhodné používat alespoň jeden vzorek jako vzorek denního nastavení. U vybraného vzorku je nutné vybrat jakoukoliv reprezentativní část vzorku, označit ji jako kontrolní plochu a ta se proměří pomocí Rollscan 300. Provede se deset samostatných měření a zaznamená se průměrná hodnota. Pokud se hodnoty denního vzorku mění z důvodu mechanického poškození, koroze nebo zbytkové magnetizace, měl by být vyměněn [10]. Postup denního nastavení je zřejmý z přílohy číslo I spolu s deníkem pro zaznamenávání hodnot a poznámek.

#### 5.5 Kalibrace měření

Kalibrace je sled úkonů, kterými se za definovaných podmínek určí vztah mezi hodnotami veličin, které jsou udávány měřicím systémem nebo měřicím přístrojem, nebo hodnotami

reprezentovanými mírou nebo referenčním materiálem, a shodnými hodnotami, které jsou realizovány etalony [12].

Důvodem pro kalibraci je zachování hodnot magnetoelastického parametru (mp) na stejné úrovni v případě, když snímač vlivem opotřebení změří menší nebo větší hodnoty. Proto firma Stresstech doporučuje jednou za čas proměřit hodnoty etalonu a srovnat je s hodnotami dříve změřenými. Pro tyto účely Stresstech nabízí sadu referenčních vzorků.



Obr. 13 Referenční vzorky od firmy Stresstech [11]

Ve firmách často volí tři kvalitní etalony z výroby, na kterých je nutné definovat stejná místa měření. První etalon se označí jako etalon „denního nastavení“ a zbylé dva jako 1. a 2. kalibrační etalon. Zvolené etalony změříme pomocí Barkhausenova šumu a naměřené hodnoty zaznamenáme. Etalon denního nastavení se užívá pro denní kontrolu naměřených hodnot s předchozími hodnotami. Jestli se naměřené hodnoty měření liší o více jak 5%, je třeba provést kontrolní měření na 1. kalibračním etalonu. Tento etalon se využívá k zjištění, zda je poškozen etalon denního nastavení nebo je odchylka v systému Rollscan 300. Pokud hodnoty 1. kalibračního etalonu odpovídají předchozím naměřeným hodnotám, vychází z toho, že etalon denního nastavení je poškozen. Proto je vadný etalon nutné vyřadit a nahradit novým etalonem. Pokud se naměřené hodnoty 1. kalibračního etalonu také rozcházejí, je třeba provést proměření i u 2. kalibračního etalonu. Jestliže výsledky budou stále rozdílné, je nutné vykonat nastavení snímače a postup se zopakuje. Pokud je snímač poškozen,



je třeba se obrátit na zástupce firmy Stresstech a řešit případný problém ohledně snímače [10].  
Etalony je třeba uchovávat v čistotě a chránit před korozními vlivy.

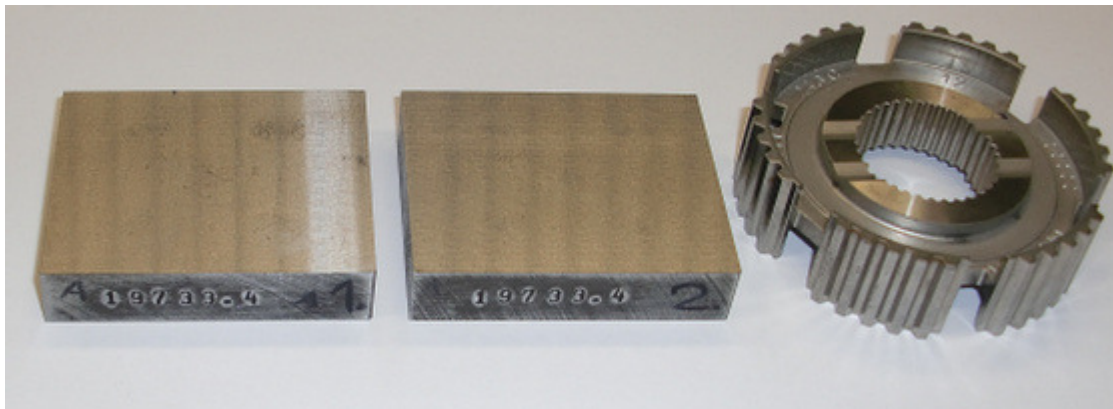
## 6. Metodika pro návrh a ověřování etalonů

Návrh souborů etalonů by měl obsahovat etalony tak, aby jejich výběr pokryl co nejširší spektrum často používaných materiálů ve strojírenství. Etalony by měly mít stálé povrchové napětí tak, aby vyhovovaly požadavkům pro kalibrační etalony. U broušených etalonů je nutné počítat s časovou relaxací zbytkových napětí, aby nenastala změna povrchového napětí vlivem stárnutí nebo časově zpožděnou plastickou deformací. Dále bude potřebné u etalonů ověřit jejich zbytkový magnetismus a případně ho odstranit. Magnetismus mohl vzniknout po upevnění etalonů na magnetickém stole u brusky a je nežádoucí, protože magnetismus ovlivňuje měření Barkhausenova šumu. Ke kontrole magnetického pole lze využít Gauss/Tesla metr a k případnému odmagnetizování bude možné použít zařízení Narex N=813, které se nachází na katedře obrábění a montáže. Odmagnetizované etalony bude následně možné začít měřit přístrojem Rollscan 300. Před samotným měřením magnetoelastického parametru bude nutné stanovit optimální nastavení parametrů pro měření jednotlivých etalonů. Důležitými parametry jsou magnetizační napětí a magnetizační frekvence. Tyto hodnoty lze stanovit měřením magnetizačních přeběhů. Následně po nastavení optimálních parametrů měření, bude možné začít s měřením magnetoelastického parametru. Měření Barkhausenova šumu by se měla provádět pokaždé na stejných místech, proto budou navrženy vyhovující pomůcky, jako jsou například šablony. Dále při přípravných měřeních bylo zjištěno, že na měření Barkhausenova šumu má vliv osa měření snímače, proto bylo navrženo, aby se měření prováděla pod úhly, které se definují. Bude nutné vyřešit, jak umožnit měření pod těmito kritérii. K měření pod určitými úhly by bylo možné navrhnout přípravky či uzpůsobit šablony, aby umožnily měření pod specifickými úhly. Následně bude potřeba vyřešit skladování etalonů, kde by se mohly bezpečně uchovávat před vnějšími vlivy. Pro tyto účely bude přínosné navrhnout box, či kufřík pro bezpečné uchovávání etalonů. Při ověřování etalonů bude provedeno podrobné zmapování na jedné straně, ale pro následné ověření pak budou vybrány dvě hodnoty s různým úhlem měření a pozicí. Kontrolní měření by se mělo vejít do konfidenčního intervalu daného úhlu ve zvolené pozici měření.

### 6.1 Návrh souboru etalonů

Soubor etalonů by měl pokrýt nejpoužívanější materiály, jelikož v laboratorních podmínkách se často měří materiály variabilní. Proto bylo třeba zvolit etalony tak, aby tyto podmínky splňovaly. Jako etalony byly navrženy vzorky z nástrojové oceli 19 733.4, z konstrukční oceli 14 109.4 a etalony vyrobené práškovou metalurgií a to metodou slinování.

Etalon vyrobený práškovou metalurgií bude o obsahu uhlíku 0,5-0,8%, mědi 0,9-2,2%, niklu 3,4-4,2%, molybdenu 0,4-0,7% a zbytek bude tvořit železo. Dále byla možnost proměřit originální etalony z firmy Stresstech, které byly zapůjčeny.



Obr. 14 Etalon z 14109.4, 19733.4 a slinovaný etalon

## 6.2 Soubor etalonů

Soubor etalonů pro hodnocení stavu strojních součástí obsahuje celkem devět etalonů, tedy od každého zástupce typu materiálu obsahuje tři etalony. Etalony z ocele 14109.4 a 19733.4 mají rozměry 60,0 x 50,0 x 13,0 mm. Ocel třídy 19733.4 je nástrojová, nízkolegovaná W-Cr-Si pro práci za studena i za tepla, tvrdost vzorků je 54 HRC a informace o jejím předešlém tepelném zpracování jsou zobrazeny v tab.1.

<b>Tepelné zpracování oceli 19 733.4:</b>		
kalení:	olej 870-920°C	58-60 HRC,
popouštění:	280°C	54 HRC.

Tab. 1 Tepelné zpracování oceli 19733.4

Ocel třídy 14109.4 je chromová ocel pro valivá ložiska, tvrdost vzorků je 57-58 HRC a informace o jejím předešlém tepelném zpracování jsou zobrazeny v tab. 2.

<b>Tepelné zpracování oceli 14 109.4:</b>		
kalení:	olej 820-840°C	60-61 HRC,
popouštění:	olej 170°C	57-58 HRC.

Tab. 2 Tepelné zpracování oceli 14109.4

Etalony z nástrojové a konstrukční oceli budou následně broušeny, aby byly zarovnány do roviny. Následně bylo nutné u etalonů zajistit stálost povrchového napětí. Daná problematika byla konzultována s doc. Daďourkem a autorovi bylo doporučeno etalony nechat před samotným měřením Barkhausenova šumu měsíc ustálit. Tím bude zaručeno konstantní povr-

chové napětí a předejde se možným změnám vlivem stárnutí nebo časově zpožděné plastické deformace.



Obr. 15 Soubor etalonů

Etalony vyrobené práškovou metalurgií obsahují 0,5-0,7% uhlíku, 1-2% mědi, 3,5-4,5% niklu a zbytek tvoří železo. Tvrdost vzorků je 240+60HV10 a jedná se o tvarovou součást.

Všechny etalony byly označeny číslicemi jedna až tři pomocí lihového fixu. Díky označení není možné etalony zamíchat mezi sebou. Číslice na etalonech označují jejich pojmenování uvedené v kapitole 5.5 a pro lepší přehlednost je uvedeno i v tabulce 3.

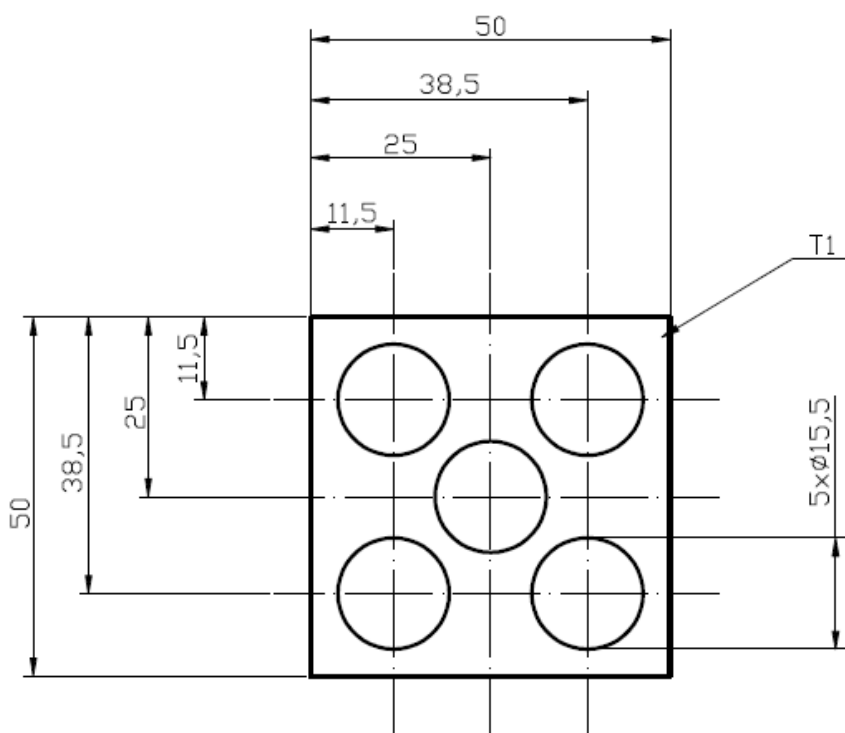
označení	pojmenování
1	Etalon "denního nastavení"
2	1. kalibrační etalon
3	2. kalibrační etalon

Tab. 3 Význam označení etalonů

### 6.3 Návrh šablon

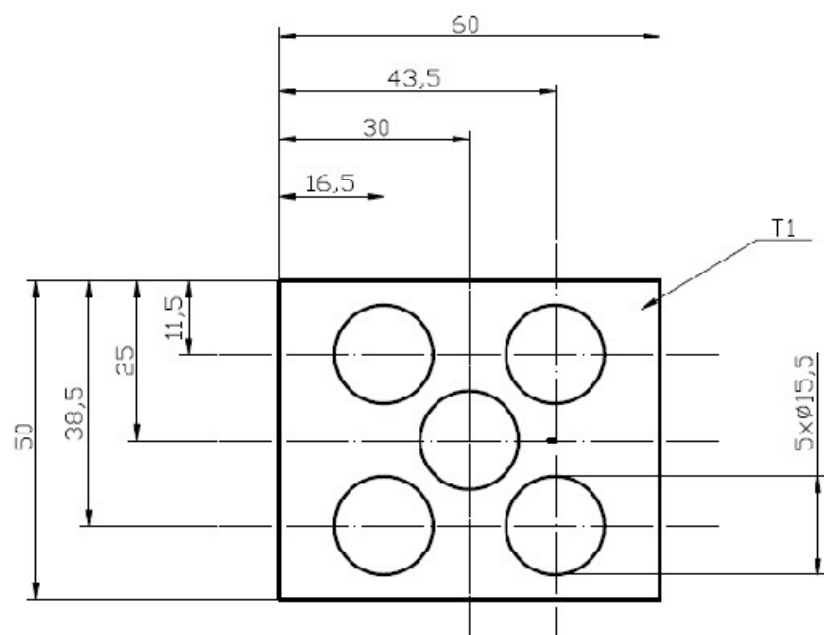
Z důvodu potřeby zaručení stálých míst pro měření na etalonech bylo nutné zvolit adekvátní metodu, která by toto umožnila. Jako optimální pomůcka byla zvolena výroba šab-

lon, které by se přikládaly na měřené etalony. Šablony by měly splňovat několik zásadních kritérií. V první řadě by měly mít velkou trvanlivost měření, dále by bylo vhodné, aby nebyly z feromagnetického materiálu a nemohly tak ovlivňovat měření. Proto byly navrženy šablony z plastu, které splňují daná kritéria. Jako polotovary pro výrobu šablon byla zvolena podložka na modelování formátu A5. Tvary šablon byly zvoleny tak, aby kopírovaly tvar etalonů a jedna šablona byla vyrobena jako univerzální. První typ šablony má rozměry 50,0 x 50,0 x 1,0 mm a bude to univerzální šablona.



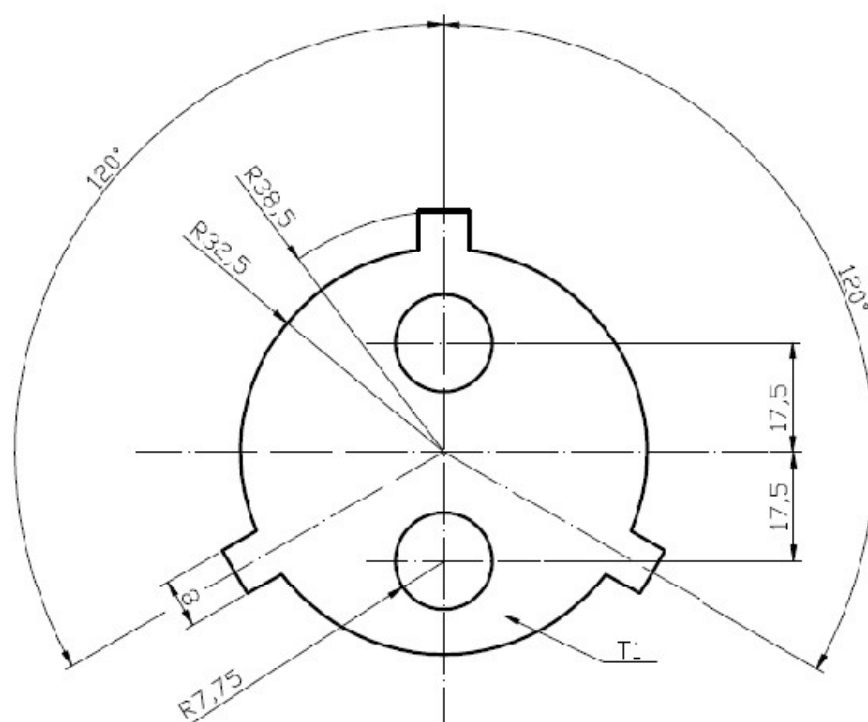
Obr. 16 Šablona 1

Otvory šablony byly navrženy tak, aby pokryly pokud možno co nejvíce míst k měření a umožnily měření pod jakýmkoliv úhlem. Jako tvar otvoru pro šablony byl zvolen kruh o průměru 16,0 mm. Co se týká rozmístění otvorů v šabloně, bylo použito schéma rozmístění stejné, jako je na straně s číslem pět u hrací kostky. Vzdálenost středové osy krajních otvorů od středové osy šablony je 12,4 mm. Druhý typ šablony má stejné rozměry jako etalony z konstrukční a nástrojové oceli, tedy 60,0 x 50,0 x 1,0 mm. Definovaná místa měření jsou stejná jako u prvního typu šablony a střed šablony se zvolil také podle první šablony. Třetí typ šablony byl navržen jako tvarová šablona zapadající do tvarového etalonu vyrobeného práškovou metalurgií.



Obr. 17 Šablona 2

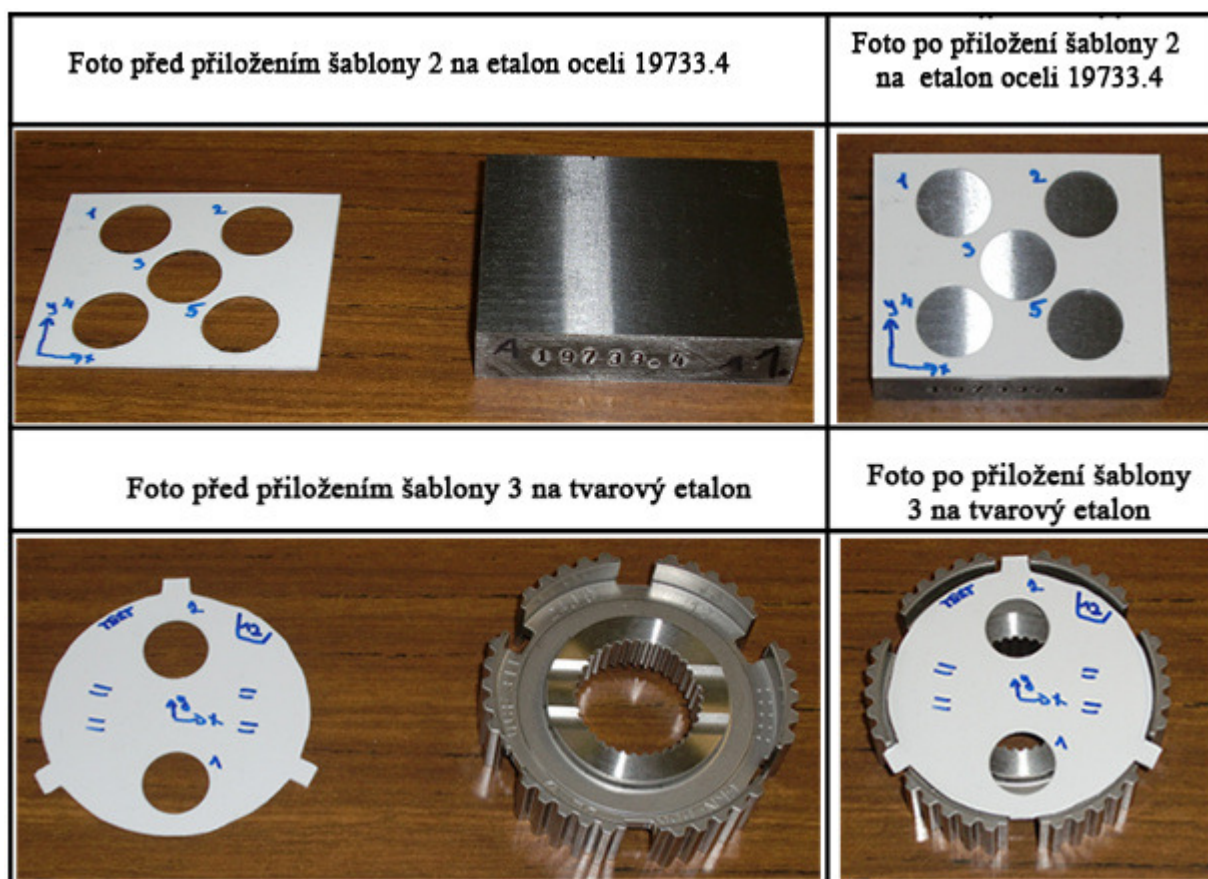
Definovanými pozicemi měření byla zvolena dvě místa, která budou osově vzdálena od středu šablony 17,5 mm a svírající mezi sebou úhel 180°. Výrobní dokumentace šablon se nachází v příloze č. III.



Obr. 18 Šablona 3

## 6.4 Definování míst měření

Místa určená k měření budou definována lihovým fixem na šablonách a dále bude znázorněna i osa měření. Místa měření budou označena v rozmezí jedna až pět šablony prvního a druhého typu. Šablona třetího typu bude mít místa měření v rozmezí jedna až dva. Dále je potřeba vyřešit správné přikládání šablon k etalonům. První a druhý typ šablony by se měl



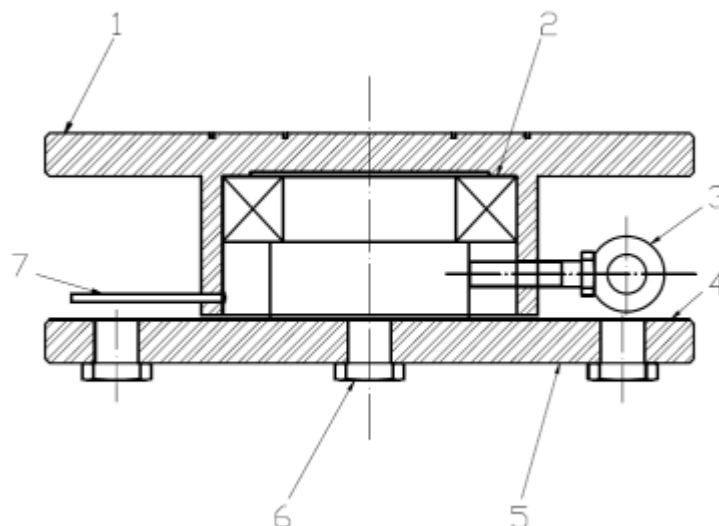
Tab. 4 Polohování etalonu a šablony při kalibraci

přikládat v kladném směru vyznačených os od vyraženého označení na etalonech. Horní a dolní strana etalonů se bude určovat dle tab. 4. Třetí typ šablony se bude také přikládat v kladném směru os a podrobnější znázornění lze vyčíst na tab. 4.

## 6.5 Návrh přípravku a možnosti uchovávání

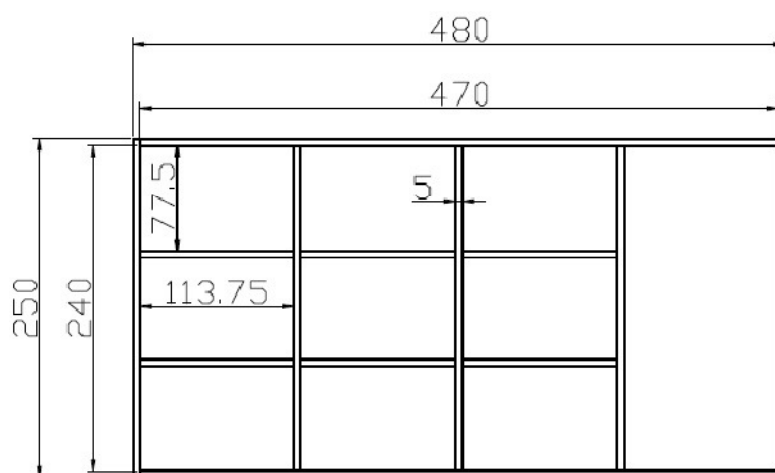
K měření etalonů pod definovanými úhly bylo třeba navrhnout způsob, který by umožnil měření pod jakýmkoliv úhlem. Proto padlo rozhodnutí na výrobu kvalitního přípravku, který by toto umožňoval. Přípravek tedy musí obsahovat otočnou pracovní desku s možností aretace a umožnit určení úhlu pootočením pracovní desky vůči spodní části přípravku. Tvar a rozměry přípravku byly zvoleny tak, aby optimálně vyhovovaly měření etalo-

nů na pracovním stole. Návrh přípravku vznikl za spolupráce Ing. Ledviny. Rozměr měřicí desky byl zvolen o  $\varnothing 150,0$  mm a výšky 57,0 mm. Spodní část přípravku byla navržena tak, aby bylo možné pracovní plochu vyrovnat do vodorovné polohy pomocí šroubků M6 a zaznamenat úhel pootočení horní části přípravku. K definování úhlu bude sloužit úhlo-  
měr a ukazatel. Úhloměr bude natištěn na fotopapír, aby získal delší životnost, než klasický papír a zároveň působí lepším estetickým dojmem než obyčejný papír.



Obr. 19 Sestava přípravku

Jako předloha pro úhloměr bude sloužit oskenovaný plastový úhloměr, který umožňuje měření v rozmezí  $360^\circ$ . Rotační pohyb bude zajišťovat valivé ložisko. Dále bylo potřebné vyřešit vystředění etalonů na přípravku.



Obr. 20 Půdorysu boxu pro etalony



Z toho důvodu byly na pracovní ploše přípravku navrženy středící kruhy o průměrech 39,0 mm a 73,0 mm, které dostatečně vyhovují k vycentrování etalonů nebo případně jiných vzorků. Výrobní výkresy pro výrobu přípravku jsou uvedeny v příloze číslo III.

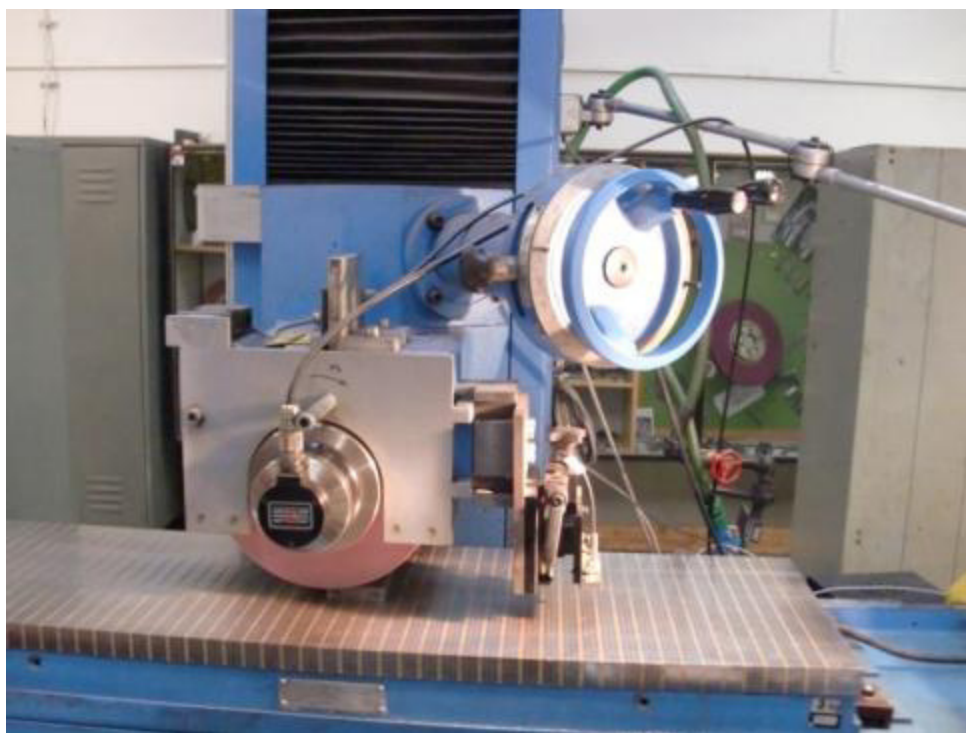
Pro uchovávání etalonů byl navržen box, který bude vyroben a bude uzpůsoben potřebám pro uchovávání souborů etalonů. Box pro uchování etalonů bude vhodné navrhnout tak, aby umožnil bezpečné uchování etalonů i jejich přenos bez jejich poškození či jejich smíchání. K bezpečnému uchování etalonů byly upraveny dřevěné příčky z dřevěné krabice pro přepravu ložisek a k vyplnění prostoru v boxu byl navržen molitan, který se následně potáhne černou látkou. Box bude obsahovat deset přihrádek pro uchovávání devíti etalonů a desátá příčka bude obsahovat konzervační olej ve spreji. Vnější rozměry přenosného boxu byly navrženy 480,0 x 255,0 x 110,0 mm. Technická dokumentace rozmístění přihrádek boxu je v příloze číslo III.

## 7. Výroba souborů etalonů

Soubory etalonů z 14109.4 a 19733.4 byly broušeny na sucho na brusce typu BPH 320 A, která se nachází v laboratoři obrábění na katedře obrábění a montáže TU v Liberci. Pro soubor etalonů byly použity polotovary o vlastnostech, které byly uvedeny v kapitole 6. Před broušením etalonu byl kotouč orovnáán za pomoci diamantového orovnávače. Následně byly etalony broušeny na čelní ploše 60,0 x 50,0 mm z obou stran za řezných podmínek dle tab. 5. Broušení bylo provedeno za spolupráce Ing. Miloslava Ledviny. Etalony byly po broušení následně zakonzervovány konzervačním olejem z důvodu ochrany před korozí.

Hloubka záběru	Posuv	Řezná rychlost
0,01 mm	15 m/min	32.7m/s

Tab. 5 Řezné podmínky



Obr. 21 Detail brusky BPH 320 A

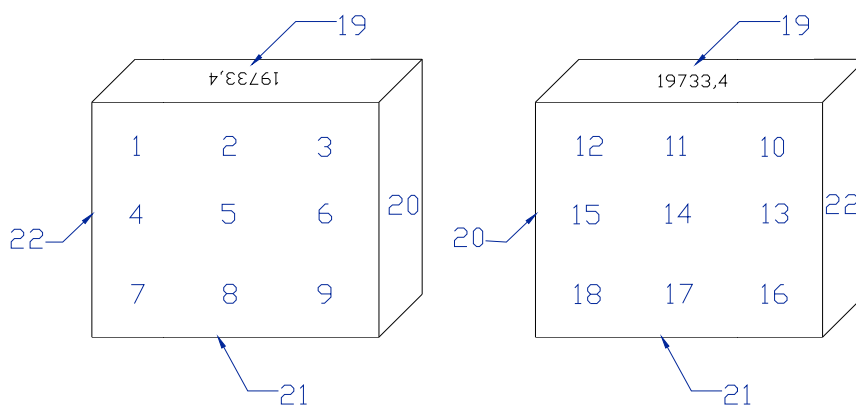
### 7.1. Ověření etalonů

Protože etalony z ocelí 14109.4 a 19733.4 byly během broušení upevněny na magnetickém stole, bylo nutné etalony ověřit a případně je odmagnetizovat. Zbytková magnetizace by narušila následná měření přístrojem Rollscan 300.



Obr. 22 Gauss/Tesla metr 5180

K odmagnetizování bylo využito zařízení Narex N=813, jelikož tato metoda demagnetizace nemusí být 100% účinná u všech materiálů, bylo třeba ověřit zbytkové magnetické pole etalonů. K tomu bylo využito Gauss/Tesla metru 5180, který je zobrazen na obr. 22. Měření bylo provedeno v laboratoři katedry mechaniky, pružnosti a pevnosti a proměření etalonů bylo provedeno na definovaných místech dle obr. 27. Na měření mají vliv jakákoliv elektromagnetická pole, proto se v blízkosti měření nevyskytovala žádná elektrická zařízení. Měření dále zkresluje magnetické pole země, ale toto zkreslení nemá významnou roli. Vzorky byly proměřeny na dvaadvaceti různých místech jak je vidět na obr. 23. Výsledky měření jsou zaznamenány v příloze II.



Obr. 23 Definovaná místa měření

Přístroj byl nastaven pro měření přes stacionární pole a v jednotkách kAm. Pro každý bod byla provedena tři měření, aby zmenšena odchylka v nepřesnosti měření. Naměřené hodnoty byly pak zprůměrovány a zaznamenány v tabulkách v příloze II.

<b>Zbytkové magnetické pole</b>			
<b>materiál</b>	<b>14109.4</b>		
<b>vzorek</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>[kAm]</b>	-0,1019 ± 0,176	0,0045 ± 0,031	0,0049 ± 0,058

Tab. 6 Statistický interval spolehlivosti naměřených hodnot

<b>Zbytkové magnetické pole</b>			
<b>materiál</b>	<b>materiál 19733.4</b>		
<b>vzorek</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>[kAm]</b>	-0,0634 ± 0,015	-0,0786 ± 0,064	-0,0221 ± 0,145

Tab. 7 Statistický interval spolehlivosti naměřených hodnot

## 7.2. Výroba otočného přípravku

Otočný přípravek se skládá ze dvou částí, horního a spodního dílu. Pro výrobu horního a spodního dílu byly použity kulatiny z oceli třídy 11 523 o  $\varnothing$  160,0 mm a výšce 50,0 mm. Oba díly byly vyrobeny dle výkresové dokumentace, která je přiložena v příloze III. Výroba přípravku byla provedena na obráběcích strojích v prostorách 1. Strojírenské, a.s. za spolupráce Karla Bešty. Poté, co byly oba díly vyrobeny, byly nabarveny pomocí technologie nástřiku vzduchem. Nejprve se použila základní barva k ochraně proti korozi. Horní díl byl nastříkán černou barvou a spodní díl bílou barvou. Po zaschnutí barvy byly vyrobeny závity M6 v předvrtaných dírách o průměrech 5,0 mm za použití sady závitníků. Následovala montáž drátu o délce 35,0 mm a  $\varnothing$  2,0 mm na horní díl přípravku. Drát, který byl zbroušen do špičky, slouží jako ukazatel. Na spodní díl byly použity šrouby M6, které umožní vyrovnání výšky přípravku. Dále byl na spodní díl přípravku nalepen úhloměr, který byl vytištěn na fotopapír. Následně bylo nalisováno ložisko 6306 ZR na spodní díl přípravku, vnitřní kroužek ložiska byl před montáží ohřátý na 120°C. Po vychladnutí ložiska byl nalisován horní díl přípravku. Jako poslední byl našroubován aretační šroub M6 a přípravek byl kompletní.



Obr. 24 Otočný přípravek

### 7.3 Výroba boxu pro uchování etalonů

Rám boxu byl vyroben z prkýnek z dřevotřísky, které byly mezi sebou pospojovány tmelem do tvaru kvádrů bez horního víka o rozměrech 480,0 x 255,0 x 110,0 mm. Box byl následně orámován plechy pro zaručení větší stability rámu. Víko boxu z dřevotřísky je vysouvací a je zajištěné plechovými přezkami. Vnitřní přihrádky jsou také z dřevotřísky a umožňují uchování devíti etalonů ve třech řadách.



Obr. 25 Box pro uchování vzorků

V každé řadě je možné uchovat 3 etalony. Čtvrtá řada umožňuje uchování konzervačního oleje. Pro výplň přihrádek byl použit molitan s vyříznutým negativem ve tvaru etalonů. Vrchní část molitanu byla následně potáhnutá černou látkou. Dále každá přihrádka obsahuje označení příslušných etalonů.

#### 7.4 Výroba šablon

Šablony byly vyrobeny z plastové podložky na modelování formátu A5. Nejprve se tužkou narýsovaly krajní obrysy šablon dle výrobní dokumentace, která se nachází v příloze III. Pak byl vyříznut tvar šablon pomocí ulamovacího nože. Následně byly na šablonách narýsovány pozice pro otvory se středem, aby se vědělo, kam přikládat raznice kruhového průměru 15.5 mm.



Obr. 27 Použitá raznice a výstružník roztahovací

Výroba kruhových otvorů do šablon probíhala v laboratořích obrábění na katedře obrábění a montáže TU v Liberci. Šablony byly vyráběny na dřevěné desce a razily se raznicí za pomoci kladiva. Následně vyražené otvory v šablonách byly začištěny výstružníkem roztahovacím.



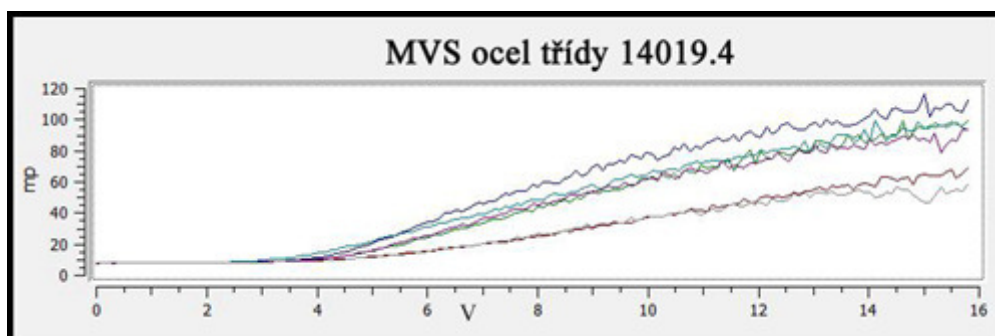
Obr. 28 Vyrobené šablony

## 8. Ověření etalonů

Ověření etalonů probíhalo v prostorách katedry obrábění a montáže za spolupráce Ing. Lucie Vrkoslavové a za použití Microscan 600-1. Dále byl proměření použit přípravek a šablony.

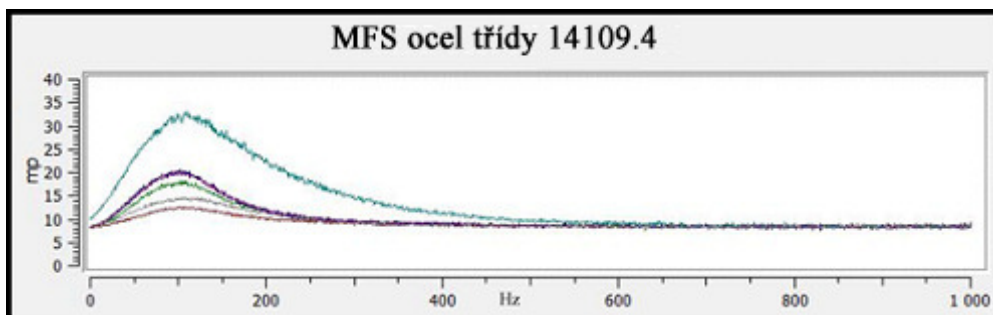
### 8.1 Stanovení optimálních podmínek měření

Před samotným začátkem ověření souborů etalonů bylo třeba stanovit optimální podmínky pro měření. Měření pro stanovení optimálního nastavení parametrů byla provedena na horní straně pro každý etalon včetně Stresstech etalonů, u kterých bylo provedeno měření zhruba uprostřed válečků. Výsledné grafy měření pro určení optimálního nastavení lze nalézt v příloze IV. Jako první bylo provedeno měření přeběhu magnetizace, které se používá k určení optimálního magnetizačního napětí. Zjišťování přeběhu magnetizace zařízení se provádí pomalým zvyšováním magnetizačního napětí od nuly po maximální povolené magnetizační napětí a zaznamenává hodnoty  $m_p$  jako funkci napětí.



Obr. 29 Graf měření MVS pro ocel třídy 14109.4

Výsledný graf lze využít k definování optimálního magnetizačního napětí. Stanoví se takové napětí, kde materiál začíná reagovat. Z naměřených hodnot byla stanovena optimální magnetizační napětí, která se nachází v tab. 6.



Obr. 30 Graf měření MFS pro ocel třídy 14109.4

Dále bylo třeba stanovit optimální magnetizační frekvenci. K tomu slouží měření průběhu magnetizační frekvence. Tato metoda pracuje na stejném principu jako předchozí metoda, ale místo zvyšování magnetizačního napětí zvyšuje magnetizační frekvenci. Magnetizační napětí je během tohoto měření konstantní. Definování magnetické frekvence se určuje v okolí maxima výsledného grafu. Z naměřených hodnot byly stanoveny optimální magnetizační frekvence, které lze vyčíst v tab. 8.

	MVS [V]	MFS [Hz]
etalony z 14 108.4	8	125
etalony z 19 733.4	8	125
etalony z prášk. metalurgie	5	125
Stresstechetalon 50 HRC	5	125
Stresstech etalon 60 HRC	5	125

Tab. 8 Stanovení optimálních podmínek měření

## 8.2 Proměření Stresstech vzorků

Proměření Stresstech vzorků bylo provedeno za předem zjištěných optimálních podmínek měření. Byly tedy nastaveny hodnoty magnetizační frekvence 125 HZ a hodnoty magnetizačního napětí 5V. Měření se prováděla na středu referenčních etalonů, kolem dokola celého etalonu. Celkově bylo změřeno dvanáct hodnot na každém etalonu, které jsou zaznamenány v tabulce 9.

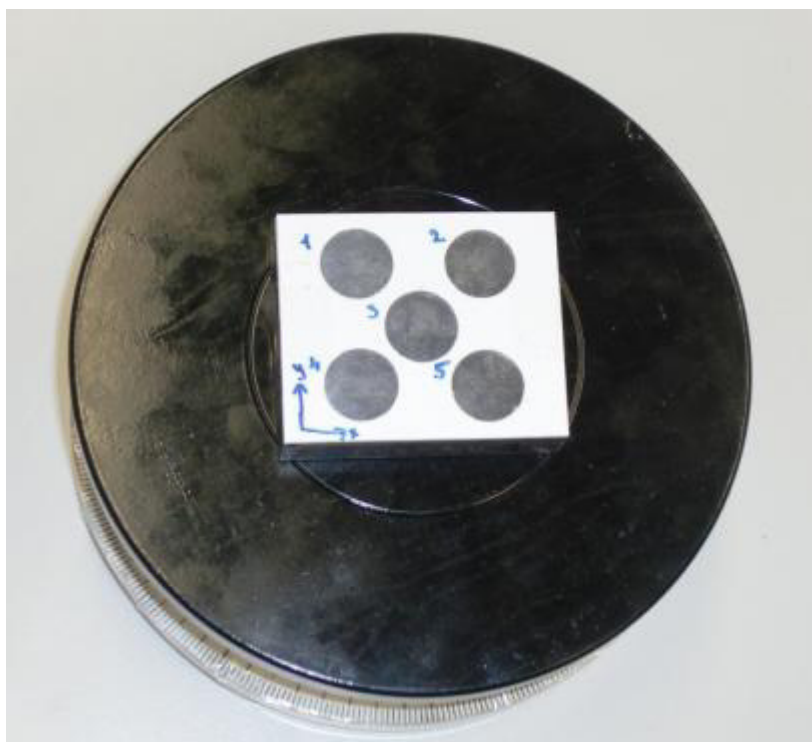
Etalon	Naměřené hodnoty [mp]												Konf. interval
	19,8	21,4	19,5	20,0	19,9	19,7	21,5	20,2	20,4	21,4	21,1	21,3	
50HRC	19,8	21,4	19,5	20,0	19,9	19,7	21,5	20,2	20,4	21,4	21,1	21,3	<b>20,52 ± 0,51</b>
60HRC	14,0	14,1	14,4	14,2	14,1	14,2	14,4	14,6	14,2	14,1	14,3	13,9	<b>14,21 ± 0,13</b>

Tab. 9 Naměřené hodnoty Stresstech vzorků

## 8.3 Měření magnetoelastického parametru

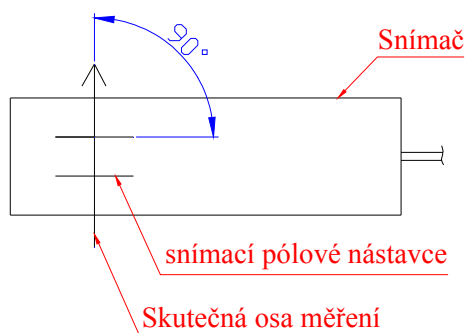
Po zajištění optimálních podmínek pro měření bylo možné začít měřit magnetoelastický parametr pomocí Rollscanu 300. Měření etalonů probíhala na horní straně etalonu na předem definovaných místech měření pomocí šablony 1. K měření byl využit vyrobený přípravek a byl postavený tak, aby úhel 270° vždy směřoval kolmo k řešiteli. Následně se na měřený etalon denního nastavení přiložila šablona, aby byla zaručená stálá poloha šablony. Během měření je možné šablonu upevnit na etalon lepicí páskou. Etalon spolu se šablonou přikládáme na střed přípravku, ke správnému vystředění se použijí středící kruhy nacházející se na přípravku (obr. 31).





Obr. 31 Správné vystředění etalonu

Nyní je možné začít se samotným měřením magnetoelastického parametru pomocí Rollscanu 300. Měření se provádí tak, že se přiloží snímač na měřenou plochu a stiskne se na počítači „measure“.



Obr. 32 Znázornění skutečné osy měření

Po chvíli zpracovávání dat se objeví naměřená data v propojeném počítači. Každá pozice je proměřena pětkrát a postup měření je od pozice jedna do pozice pět. Z naměřených dat byly následně vypočteny směrodatné odchylky a v toleranci u rozměrů byl použit statistický interval spolehlivosti, pro úroveň spolehlivosti 95% a stupeň volnosti 5.

etalon "denního nastavení" oceli 14 109.4					
úhel měření 0°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	36,1	20,0	44,1	20,4	18,1
2.	34,6	19,7	47,5	20,6	18,1
3.	33,8	20,2	47,8	20,2	18,5
4.	35,3	18,4	51,8	22,2	18,7
5.	35,9	21,4	56,2	22,8	19,3
Konf. interval	35,14 ± 1,32	19,94 ± 1,49	49,48 ± 6,45	21,24 ± 1,64	18,54 ± 0,69
úhel měření 30°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	42,2	60,6	105,2	42,5	54,7
2.	46,4	52,5	100,5	45,3	61,3
3.	46,1	54,2	106,4	49,6	53,4
4.	49,1	54,5	102,1	45,0	57,8
5.	52,9	53,9	103,1	41,7	54,2
Konf. interval	47,34 ± 5,50	55,14 ± 4,37	103,46 ± 3,29	44,82 ± 4,29	56,28 ± 4,53
úhel měření 60°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	31,6	33,4	89,2	39,2	27,1
2.	31,6	34,7	82,8	40,6	27,5
3.	25,2	39,2	86,9	32,6	29,0
4.	31,1	33,2	87,3	40,2	30,7
5.	33,6	27,3	87,0	30,5	31,9
Konf. interval	30,62 ± 4,41	33,56 ± 5,91	86,64 ± 3,25	36,62 ± 6,55	29,24 ± 2,85
úhel měření 90°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	25,1	18,2	23,9	18,8	17,0
2.	21,4	19,3	23,5	17,8	15,3
3.	23,9	18,0	24,2	16,4	18,3
4.	23,5	19,2	24,5	19,4	18,6
5.	22,4	17,6	23,8	17,5	17,2
Konf. interval	23,26 ± 1,97	18,46 ± 1,05	23,98 ± 0,53	17,98 ± 1,62	17,28 ± 1,81

úhel měření 120°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	24,1	15,0	34,3	17,0	15,8
2.	23,2	16,7	34,3	17,1	16,7
3.	24,2	15,6	35,1	17,8	16,2
4.	22,3	15,8	35,6	16,9	16,2
5.	24,2	17,0	35,2	17,7	18,1
Konf. interval	23,60 ± 1,17	16,02 ± 1,14	34,90 ± 0,80	17,30 ± 0,58	16,60 ± 1,25
úhel měření 150°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	29,8	17,0	36,8	24,8	17,1
2.	33,6	19,5	47,9	23,0	15,0
3.	36,9	19,9	45,9	22,1	15,0
4.	35,0	18,9	49,0	22,2	17,3
5.	31,8	20,5	48,9	21,1	15,5
Konf. interval	33,42 ± 3,82	19,16 ± 1,86	45,70 ± 7,12	22,64 ± 1,92	15,98 ± 1,57
úhel měření 180°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	36,4	18,7	50,4	22,6	18,9
2.	35,3	19,3	49,0	22,3	19,9
3.	38,6	19,0	50,4	23,1	20,8
4.	37,3	20,5	52,5	21,9	20,2
5.	39,4	19,6	49,7	22,3	20,7
Konf. interval	37,40 ± 2,29	19,42 ± 0,96	50,40 ± 1,82	22,44 ± 0,62	20,10 ± 1,06
úhel měření 210°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	35,0	20,9	49,3	20,7	19,7
2.	35,4	20,4	43,7	21,6	22,4
3.	33,1	22,0	47,6	22,1	21,6
4.	35,4	20,5	45,7	22,1	21,5
5.	31,2	19,9	42,6	20,7	21,8
Konf. interval	34,02 ± 2,56	20,74 ± 1,10	45,78 ± 3,81	21,44 ± 0,98	21,40 ± 1,41

úhel měření 240°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	23,6	18,5	31,3	16,5	20,4
2.	23,9	18,6	29,2	17,3	18,4
3.	27,4	20,0	30,3	17,0	19,2
4.	28,0	18,4	32,4	16,6	19,7
5.	24,2	19,9	29,7	16,3	21,7
Konf. interval	25,42 ± 2,92	19,08 ± 1,11	30,58 ± 1,78	16,74 ± 0,56	19,88 ± 1,74
úhel měření 270°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	20,5	18,6	27,7	15,1	17,9
2.	21,8	18,2	28,6	15,4	16,5
3.	21,7	18,3	28,8	16,2	18,1
4.	22,7	17,8	28,4	16,1	16,7
5.	21,0	18,7	32,1	12,7	18,1
Konf. interval	21,54 ± 1,16	18,32 ± 0,49	29,12 ± 2,38	15,10 ± 1,97	17,46 ± 1,10
úhel měření 300°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	21,5	16,0	32,0	14,8	15,8
2.	22,2	16,3	33,2	16,6	16,8
3.	23,8	17,7	32,4	15,1	16,5
4.	15,9	17,2	32,5	16,7	15,8
5.	24,4	17,2	34,6	15,2	16,1
Konf. interval	21,56 ± 4,68	16,88 ± 0,98	32,94 ± 1,4	15,68 ± 1,25	16,20 ± 0,61
úhel měření 330°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	25,8	17,1	48,6	18,9	16,9
2.	29,5	17,4	49,6	19,4	15,5
3.	26,8	17,8	54,5	19,1	15,4
4.	25,9	16,7	47,8	21,2	16,0
5.	28,0	17,2	52,9	20,4	16,4
Konf. interval	27,20 ± 2,17	17,24 ± 0,56	50,68 ± 4,01	19,80 ± 1,35	16,04 ± 0,87

Tab. 10 Naměřené hodnoty etalonu denního nastavení oceli 14109.4

Naměřená data je ještě nutné posunout o  $90^\circ$ , aby naměřené hodnoty odpovídaly skutečnému úhlu měření, vysvětlení na obrázku 32. Výsledky z naměřených hodnot etalonu denního nastavení z oceli 14109.4 lze nalézt tabulce 10 a výsledky měření zbylých etalonů v příloze V.

## 8.4 Vyhodnocení naměřených dat

Vyhodnocení naměřených dat probíhá ve čtyřech rozdílných kritériích vyhodnocování. První kritérium se zabývá zpracováním konfidenčního intervalu u naměřených sad etalonů. Druhé kritérium zpracovává naměřená data pomocí paprskových grafů. Třetí kritérium se zabývá vyhodnocením zprůměrovaných hodnot  $\mu$  mezi jednotlivými etalony v sadě a poslední kritérium vyhodnocování se zabývá ověřením naměřených hodnot po delší časové prodlevě.

### 8.4.1 Vyhodnocení konfidenčního intervalu naměřených dat

Prvním typem vyhodnocení naměřených dat je zpracování konfidenčního intervalu u sad etalonů. U některých naměřených dat je konfidenční interval bohužel vyšší jak 10% průměrované hodnoty.

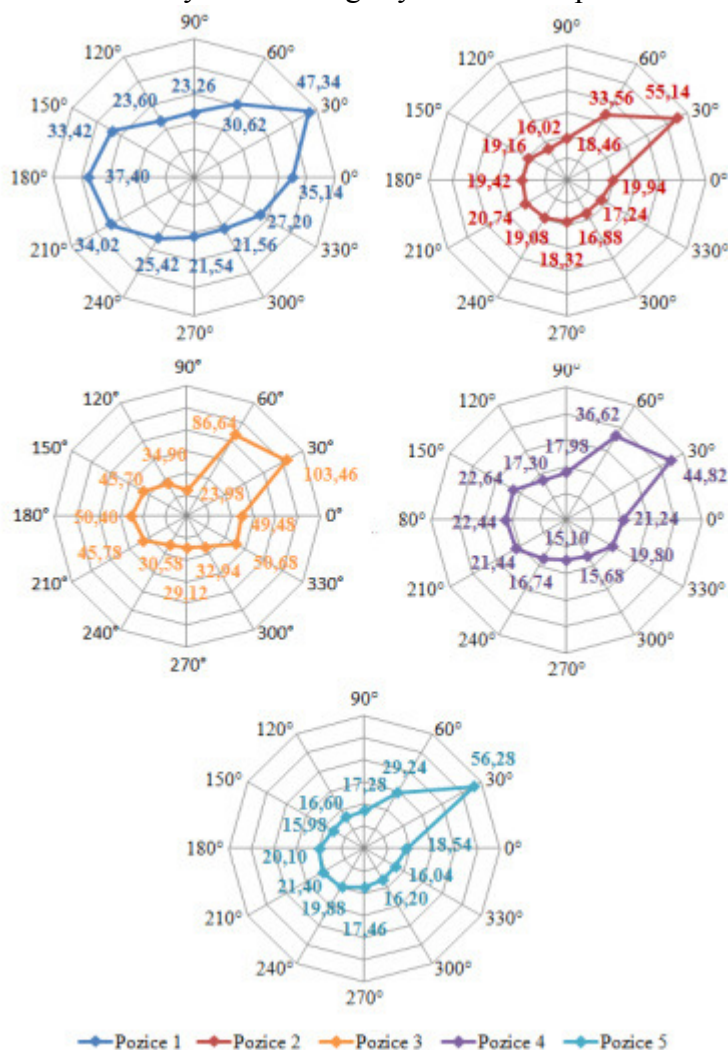
Název vyhodnocených dat	Počet měření, při kterých byl interval vyšší než 10%	Vyjádření v procentech
Sada etalonů z oceli 14109.4	38 ze 165	23,00%
Etalon denního nastavení z oceli 14109.4	10 z 55	18,18%
1. kalibrační etalon z oceli 14109.4	16 z 55	29,09%
2. kalibrační etalon z oceli 14109.4	12 z 55	21,81%
Sada etalonů z oceli 19733.4	16 z 55	9,69%
Etalon denního nastavení z oceli 19733.4	0 z 55	0,00%
1. kalibrační etalon z oceli 19733.4	10 z 55	18,18%
2. kalibrační etalon z oceli 19733.4	6 z 55	10,90%
Sada etalonů vyrobených slinováním	5 z 66	7,57%
Etalon denního nastavení vyrobený slinováním	1 z 22	4,55%
1. kalibrační etalon vyrobený slinováním	2 z 22	9,09%
2. kalibrační etalon vyrobený slinováním	2 z 22	9,09%

Tab. 11 Počet měření, při kterých byl interval vyšší než 10%

Nejvyšší výskyt těchto chyb se vyskytuje u sady etalonů z oceli 14109.4, kde tato hodnota dosahuje až 23%. Tato vysoká hodnota mohla být významně ovlivněna faktem, že se jednalo první etalony měřené Barkhausenovým šumem. Na tato měření má totiž velký vliv lidský faktor. Tyto rozdíly u konfidenčního intervalu vyššího jak 10% jsou dvojího typu. První typ chyb je pouze těsně vyšší jak deset procent a druhý typ chyb je dán jednou značně rozdílnou naměřenou hodnotou, která ovlivní konfidenční interval. Přehled výskytu vyšších konfidenčního intervalů lze nalézt v tab. 11.

#### 8.4.2 Vyhodnocení naměřených dat pomocí grafů

Z naměřených dat byly sestaveny grafy, z kterých vyplývá, že u každého broušeného kalibračního etalonu převládá sklon, pod kterým má mp nejvyšší velikost. Sklon u těchto kalibračních etalonů odpovídá směru, ve kterém byly kalibrační etalony broušeny, jak lze spatřit v příloženém obr. 33. Ostatní vyhodnocené grafy lze nalézt v příloze VI.



Obr. 33 Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty etalonu denního nastavení oceli 14109.4

### 8.4.3 Vyhodnocení naměřených etalonů jako celků

Dále bylo provedeno vyhodnocení etalonů jako celků. To bylo provedeno tak, že se jednotlivé pozice pod všemi měřeními úhly zprůměrovaly a následně byl vypočítán i celkový průměr etalonu. V tomto typu vyhodnocení etalonů bylo zjištěno, že nejlépe vychází etalony vyrobené z práškové metalurgie metodou slinování.

etalony vyrobené metodou slinování		
etalon "denního nastavení"		
Pozice měření	1.	2.
Průměr naměřených hodnot [Mp]	301,88	328,22
Celkový průměr naměřených hodnot [Mp]	315,05	
1. kalibrační etalon		
Pozice měření	1.	2.
Průměr naměřených hodnot [Mp]	290,54	284,35
Celkový průměr naměřených hodnot [Mp]	287,45	
2. kalibrační etalon		
Pozice měření	1.	2.
Průměr naměřených hodnot [Mp]	320,14	319,75
Celkový průměr naměřených hodnot [Mp]	319,94	

Tab. 12 Zprůměrovaná data etalonů vyrobených metodou slinování

Odchylka u těchto etalonů je vyjádřený v procentech mezi nejvyšší zprůměrovanou hodnotou etalonu a nejnižší zprůměrovanou hodnotou etalonu, konkrétně 10,29%. Ještě byl vypočítán procentuální odchylka mezi nejvyšší zprůměrovanou hodnotou a zprůměrovanou hodnotou u etalonu denního nastavení a ten se rovná 1,53%. Zprůměrovaná data slinovaných etalonů lze vidět v tab. 12.

Jako druhý nejmenší odchylka mezi jednotlivými zprůměrovanými etalony dané sady vyšly etalony vyrobené z oceli 14109.4, kde je největší procentuální odchylka mezi nejvyšší zprůměrovanou hodnotou a nejnižší zprůměrovanou hodnotou 37,50%. Zbýlý procentuální odchylka mezi nejvyšší zprůměrovanou hodnotou a hodnotou 2. kalibračního etalonu je 17,52%. Zprůměrovaná data etalonů z oceli 14109.4 jsou v tab. 13. S největší odchylkou mezi jednotlivými zprůměrovanými hodnotami etalonů skončila sada etalonů z oceli 19733.4, kde je procentuální odchylka mezi nejvyšší zprůměrovanou hodnotou a nejnižší zprůměrovanou hodnotou 42,14%.

etalony z oceli 14 109.4					
etalon "denního nastavení"					
Pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
Průměr naměřených hodnot [Mp]	30,04	22,83	48,64	22,65	22,08
Celkový průměr naměřených hodnot [Mp]	29,25				
1. kalibrační etalon					
Pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
Průměr naměřených hodnot [Mp]	53,13	55,54	85,69	20,11	19,54
Celkový průměr naměřených hodnot [Mp]	46,80				
2. kalibrační etalon					
Pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
Průměr naměřených hodnot [Mp]	25,10	26,30	75,10	37,22	29,69
Celkový průměr naměřených hodnot [Mp]	38,68				

Tab. 13. Zprůměrovaná data etalonů vyrobených z oceli 14109.4

Zbylý procentuální odchylka mezi nejvyšší zprůměrovanou hodnotou 1. kalibračního etalonu je 24,67%. Přehled zprůměrovaných hodnot sady etalonů z oceli 19733.4 lze nalézt v tab. 14.

etalony z oceli 19733.4					
etalon "denního nastavení"					
Pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
Průměr naměřených hodnot [Mp]	49,88	62,25	48,69	46,35	54,07
Celkový průměr naměřených hodnot [Mp]	52,25				
1. kalibrační etalon					
Pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
Průměr naměřených hodnot [Mp]	36,00	33,19	30,09	23,56	28,29
Celkový průměr naměřených hodnot [Mp]	30,23				
2. kalibrační etalon					
Pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
Průměr naměřených hodnot [Mp]	43,99	42,93	35,45	36,79	37,61
Celkový průměr naměřených hodnot [Mp]	39,36				

Tab. 14 Zprůměrovaná data etalonů vyrobených z oceli 19733.4



#### 8.4.4 Ověření naměřených hodnot etalonů

Dále bylo provedeno opakování měření u etalonů denního nastavení na třech zvolených pozicích, které byly vybrány podle určitých kritérií. Těmi byly nejmenší a největší odchylka v konfidenčním intervalu a jedna pozice měření byla náhodně zvolená. Provedená opakovaná měření byla provedena se čtrnáctidenním odstupem od původního měření a nově naměřené hodnoty spolu s hodnotami z původního měření etalonů denního nastavení lze nalézt v tabulce 15. Jak lze vidět v tabulkách, nově naměřené hodnoty se pohybují v konfidenčním intervalu.

et. "denního nastavení" oceli 14 109.4		et. "denního nastavení" oceli 14 109.4	
úhel měření 60°		úhel měření 120°	
pozice měření 1.		pozice měření: 4.	
původní měření	opakované měření	původní měření	opakované měření
31,6	28,4	17,0	17,4
31,6	29,5	17,1	17,7
25,2	28,5	17,8	17,5
31,1	29,1	16,9	17,4
33,6	27,1	17,7	18,1
30,62 ± 4,41	28,52 ± 1,266	17,30 ± 0,58	17,62 ± 0,41
et. "denního nastavení" oceli 14 109.4		et. "denního nastavení" oceli 19733.4	
úhel měření 150°		úhel měření 0°	
pozice měření: 3.		pozice měření: 2.	
původní měření	opakované měření	původní měření	opakované měření
36,8	41,6	91,2	94,1
47,9	40,6	95,6	94,7
45,9	41,8	95	97,1
49,0	41,7	96,7	95
48,9	41,9	98,9	97
45,70 ± 7,12	41,52 ± 0,73	95,48 ± 3,91	95,58 ± 1,917
et. "denního nastavení" oceli 19733.4		et. "denního nastavení" oceli 19733.4	
úhel měření 120°		úhel měření 300°	
pozice měření 4.		pozice měření: 3.	
původní měření	opakované měření	původní měření	opakované měření
43,2	38,9	39	46,5
43,5	43,8	40,3	43,1
46,1	42,5	31,9	46,9
44	44	44,4	43,3
42,9	44,3	44	44,4
43,94 ± 1,77	42,7 ± 3,099	39,92 ± 7,01	44,84 ± 2,463

<b>etalon "denního nastavení" vyrobený slinováním</b>			
<b>úhel měření 150°</b>			
<b>pozice měření 1.</b>			
<b>původní měření</b>		<b>opakované měření</b>	
510,9		520,1	
461,7		509	
501,2		502,5	
504,5		514,2	
541,6		527,6	
<b>503,98</b>	<b>± 39,62</b>	<b>514,68</b>	<b>± 13,47963</b>
<b>etalon "denního nastavení" vyrobený slinováním</b>			
<b>úhel měření 60°</b>			
<b>pozice měření: 1.</b>			
<b>původní měření</b>		<b>opakované měření</b>	
168,4		167,5	
166,4		168,4	
169,4		169,8	
162,7		166,5	
162,7		169,9	
<b>165,92</b>	<b>± 4,35</b>	<b>168,42</b>	<b>± 2,04</b>
<b>etalon "denního nastavení" vyrobený slinováním</b>			
<b>úhel měření 240°</b>			
<b>pozice měření 2.</b>			
<b>původní měření</b>		<b>opakované měření</b>	
230,4		235	
229,7		254,8	
231,1		244,9	
235,7		234,7	
255,9		230,9	
<b>236,56</b>	<b>± 15,36</b>	<b>240,06</b>	<b>± 13,511</b>

Tab. 15 Ověření naměřených hodnot etalonů

## 9. Závěr

Bakalářská práce shrnuje poznatky týkající se problematiky měření integrity povrchu. Zabývá se hlubším studiem vlastností povrchu a povrchových vrstev široké skupiny technických materiálů, a také řeší způsob měření magnetoelastického parametru pomocí analyzátoru Microscan 601 využívající Barkhausenova šumu.

V této práci je zpracována volba sady etalonů, které umožňují ověřování funkčnosti systému Microscan 600-1. Jako kalibrační sady etalonů byly zvoleny etalony z oceli 19 733.4, 14 109.4 a etalony vyrobené práškovou metalurgií, a to metodou slinování. Tyto materiály byly zvoleny proto, aby pokryly zástupce nejpoužívanějších materiálů, včetně materiálů vyrobených práškovou metalurgií. Každá skupina etalonů obsahuje tři etalony, jež byly označeny dle názvosloví uvedeného v kapitole 6.2.

Pro měření etalonů pod různými úhly byl navržen a následně vyroben otočný přípravek, který umožňuje jejich rozsáhlejší zmapování. Otočný přípravek byl vyroben z oceli třídy 11 523 a má rozměry 150,0 x 57,0 mm. Díky aretaci a úhloměru na spodním dílu je umožněno jednoduché měření pod jakýmkoliv úhlem. K vycentrování kalibračních etalonů na střed se efektivně využívají středící kruhy o průměrech 55,0 mm a 73,0 mm. Pro vystředění rozměrnějších etalonů lze pak využít krajní rozměry otočného přípravku.

Pro zajištění měření na stále stejných místech byly navrženy šablony, které díky volbě kruhového otvoru nikterak nelimitují měření pod různými úhly. K jejich výrobě byl zvolen plast z důvodu eliminování možnosti ovlivnění měření a jejich minimálnímu opotřebení. Vyrobeny byly tři typy šablon, jedna univerzální o rozměrech 50,0 x 50,0 mm, druhý typ šablony má stejné rozměry jako etalony z oceli 14 109.4 a 19733.4 a třetí typ zapadá do tvarového etalonu vyrobeného práškovou metalurgií metodou slinování. Šablony se ukázaly jako dobrý metoda zaručení definovaných míst měření, objevila se však u nich jedna nevýhoda, a sice o něco větší vůle pro přikládání snímače pod specifickým úhlem.

Měření kalibračních etalonů probíhalo na předem definovaných místech měření a úhlech pomocí sestavy Microscan 600-1. Zaznamenané hodnoty měření jsou zpracovány v kapitole 8.3 a v příloze V. Vyhodnocení etalonů bylo provedeno ve čtyřech různých hlediscích. Prvním hledisko se věnovalo konfidenčnímu intervalu, kde byl vyhodnocen počet naměřených pozic obsahující vyšší konfidenční interval jak 10% od aritmetického průměru. Ukázalo se, že v tomto směru nejlépe vyšly etalony vyrobené slinováním a o něco hůře dopadly etalony z oceli 19733.4. Nejvíce naměřených pozic s vyšším konfidenčním intervalem

jak 10% bylo u etalonů z oceli 14109.4, které byly měřeny jako první a je zde znát, že se jedná o autorovo první měření Barkhausenova šumu. Většina naměřených dat s vyšším konfidenčním intervalem je zapříčiněná tím, že se jedna z pěti hodnot výrazněji liší od zbylých, což je způsobeno pravděpodobně lidským faktorem, nebo se těsně blíží k 10%.

Druhé hledisko vyhodnocení bylo provedeno pomocí grafů. Nejvhodnějším grafem pro vyhodnocení byl zvolen graf paprskový, který umožňuje lépe se zorientovat v jednotlivých úhlech měření. Ze sestavených grafů pak lze vidět vliv Barkhausenova šumu na osu měření a lze vyvodit vliv směru obrábění na velikost magnetoelastického parametru.

Třetím hlediskem vyhodnocení naměřených etalonů je jejich hodnocení jako celků. V tomto hodnocení dopadly opět nejlépe etalony vyrobené slinováním, které mezi sebou mají výrazně nejmenší procentuální odchylku od nejvyšší naměřené hodnoty. Nejvyšší odchylka u slinovaných etalonů je 10,29% a nejmenší dokonce 1,53%. U etalonů vyrobených z oceli 14109.4 a 19733.4 je nejvyšší odchylka od nejvyšší hodnoty až třikrát vyšší než u etalonu vyrobeného slinováním. Etalony z oceli 14109.4 mají nejvyšší odchylku od nejvyšší hodnoty až 37,50% a etalony z oceli 19733 dokonce až 42,14%. Nejmenší odchylka od nejvyšší hodnoty u oceli 14109.4 je 17,52% a u etalonů z oceli 19733.4 je to 24,77%. Možnou příčinou odchylek je, že byly jako etalony použity zkušební vzorky. Ty sice byly stejným způsobem zpracovány a obrobny, jenže byly vyrobeny z dlouhé tyčoviny a etalony pak byly náhodně vybrány z velkého množství vzorků, proto u nich nelze zaručit podobnou homogenitu. Z tohoto důvodu by nejspíše bylo vhodné nechat vyrobit nový soubor etalonů, u kterého by bylo zaručeno pokud možno co nejvíce shodných vlastností. To by mělo zaručit minimální odchylky při zjišťování homogenity sady etalonů.

Posledním hlediskem bylo ověření naměřených hodnot magnetoelastického parametru po čtrnácti dnech od původního měření. Ukázalo se, že soubor kalibračních etalonů splňuje požadované vlastnosti určené pro kalibrační etalony a naměřená data byla ověřena. To lze vidět například u etalonu denního nastavení z oceli 14109.4, kde u nastaveného úhlu  $60^\circ$  na pozici 1 byla původně změřena hodnota magnetoelastického parametru  $30,62 \pm 4,41$  a po čtrnácti dnech byla naměřena  $28,52 \pm 1,26$ . Což je hodnota, která se nachází v rozmezí intervalu původního měření. Je však třeba dbát na to, aby byla měření prováděna pod přesně definovaným úhlem, jinak hrozí špatný výsledek měření. Důležité je také zmínit fakt, že měření Barkhausenovým šumem je značně ovlivněno lidským faktorem, a proto je vhodné, aby bylo zmapování a ověřování etalonů prováděno důsledně a nejlépe stejnou osobou.

Vzorový postup pro kalibraci magnetoelastického analyzátoru Microscan 600-1 lze vyčíst v kapitolách 6.2, 6.4 a 8.3, kde je tato problematika řešena. Postup denního nastavení lze pak nalézt v příloze I, kde je důkladně popsáno, jak přistupovat k měření a řešení případných problémů. Postup denního nastavení obsahuje i tabulku pro zaznamenávání kontrolních měření.

Pro uchovávání etalonů byl navržen a následně i zhotoven box, který umožňuje jak skladování etalonů, tak i konzervačního oleje spolu s rukavicemi pro měření. Díky uchovávání kalibračních etalonů a konzervačního oleje na stejném místě, je možné kdykoliv chránit kalibrační etalony ochranným filmem proti korozi.

Při řešení této bakalářské práce bylo dosaženo vytyčených cílů. Byly vyrobeny tři sady etalonů z rozdílných typů materiálů, které umožňují kalibraci magnetoelastického analyzátoru Microscan 600-1. Nicméně z důvodu vzniklých odchylek u etalonů z oceli 14109.4 a 19733.4 bylo doporučeno vyrobit novou sadu etalonů s konstantními výchozími vlastnostmi.

## Seznam použité literatury

- [1] NECKÁŘ, F., KVASNIČKA, I. *Vybrané statě z úběru materiálu*. Rec. J. Gazda. 1. vyd. Praha: ES ČVUT, 1991. 88 s. ISBN 80-01-00696-4.
- [2] KOPEC, B., aj. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí*. Rec. P. Sulík, P. Mazal. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2008. 572 s. ISBN 987-80-7204-591-4.
- [3] Antonín, K. *Integrita povrchu v oblasti tepelného zpracování*. -. vyd. Plzeň: ZČU, 2001. Dostupné na: [http://ateam.zcu.cz/download/Integrita\\_prednaskaTZ.pdf](http://ateam.zcu.cz/download/Integrita_prednaskaTZ.pdf). ISBN -.
- [4] ŠIMEČEK, J. *Integrita povrchu a její význam v praktickém využití*. -. vyd. Plzeň: ZČU, -. Dostupné na: [http://www.ateam.zcu.cz/download/integrita\\_Simecek2.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/integrita_Simecek2.pdf).
- [5] MALEC, J. Některé nepříliš známé pojmy. *Strojírenská technologie*. roč.11, září 2006, č. 3. s. 4. ISSN 1211-4162.
- [6] MALEC, J., OCHODEK, V. Využití Barkhausenova šumu ke kontrole a optimalizaci broušení. *Strojírenská technologie*. roč. 11, září 2006, č. 3. s. 17. ISSN 1211-4162.
- [7] Difrakce rentgenového záření [online]. [cit. 2012-12-30]. Dostupné z: [http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/rtg\\_difrakce/4.html](http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/rtg_difrakce/4.html)
- [8] BUMBÁLEK, B., BUMBÁLEK, L. Zbytková napětí a jejich význam při řešení integrity povrchu. *Strojírenská technologie*. roč. 11, září 2006, č. 3. s. 9. ISSN 1211-4162
- [9] GANEV, N. *Rentgenová difrakční technika měření makroskopických napětí*. -. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. 18s. ISBN -.
- [10] STRESSTECH GROUP, Tikkutehtaantie 1: STRESSTECH OY – Rollscan 300 uživatelská příručka, V1.6. 2010
- [11] STRESSTECH. *Barkhausen Noise* [online]. [cit. 2012-12-30]. Dostupné z: <http://www.stresstech.fi/content/en/1034/1050/Barkhausen%20noise%20grinding%20burn%20and%20heat%20treat%20defect%20testing%20equipment.html>
- [12] WIKIPEDIA. [online]. [cit. 2012-12-30]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kalibrace>

## Seznam příloh

Příloha I- Postup denního nastavení	2 strany
Příloha II - Naměřené hodnoty zbytkového magnetického pole	3 strany
Příloha III- Výkresová dokumentace	8 stran
Příloha IV- Grafy pro stanovení optimálního měření mp	2 strany
Příloha V -Naměřené hodnoty mp	20 stran
Příloha VI - Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty mp	7 stran

## **Příloha I - Postup denního nastavení**

### **Postup denního nastavení**

- 1) Zkontrolujte, zda není systém Rollscan 300 poškozen nebo znečištěn. Zvláštní pozornost věnujte snímači. Proved'te kontrolu funkčnosti celého systému.
- 2) Zkontrolujte čistotu vzorku denní kontroly. Odstraňte všechny nečistoty z kontrolovaného povrchu vzorku.
- 3) Změřte kontrolní etalon a zprůměrujte pět (5) maximálních hodnot měření. Srovnejte získanou hodnotu s původní.
  - a) Pokud zjistíte změnu lišící se od intervalu menší než  $\pm 1\%$  mp\*, systém je při praven k použití.
  - b) Pokud je změna „přes noc“ větší než  $\pm 1\%$  mp\*:  
Zkontrolujte Rollscan 300 a vzorek denního nastavení, zda nejsou poškozeny. Pokud objevíte poškození nebo nelze systém Rollscan 300 uvést do provozu, zastavte měření, dokud není zařízení opraveno a seřídáno. Je-li poškozen kontrolní etalon, připravte si nový.
  - c) Pokud hodnoty vzorku denního nastavení nevyhovují a na systému Rollscan 300 nebo vzorku nezjistíte žádné poškození, opakujte měření. Pokud výsledky měření stále nevyhovují, proveďte měření s náhradním kontrolním etalonem.
- 4) Pravidelně zaznamenávejte výsledky denní kontroly včetně poznámek a připomínek na přiložený formulář [10].



Protokol Etalonu

---

Užití: kalibrace magnetoelastického analyzátoru a snímačů.

Typ snímače:

Napětí:

2

**Příloha II – Naměřené hodnoty zbytkového magnetického pole**

<b>Zbytkové magnetické pole</b>									
<b>materiál</b>	<b>14109.4</b>								
<b>etalon</b>	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
<b>opakování</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>
<b>pozice měření</b>	<b>Naměřené hodnoty [kAm]</b>								
<b>1</b>	0,03	-0,03	0,01	0,01	0,09	0,04	0,18	0,05	-0,02
<b>2</b>	-0,14	-0,14	-0,30	0,02	0,14	0,18	0,05	-0,02	0,10
<b>3</b>	-0,59	-0,43	-0,32	0,10	0,03	0,07	-0,01	-0,07	0,03
<b>4</b>	-0,02	-0,01	-0,02	-0,13	-0,10	-0,05	0,01	0,02	0,75
<b>5</b>	-0,10	0,00	-0,20	0,02	0,01	0,13	0,20	0,20	0,03
<b>6</b>	-0,23	-0,02	-0,09	-0,10	0,15	-0,05	-0,03	-0,03	0,01
<b>7</b>	0,35	0,20	0,45	-0,15	-0,10	-0,07	0,02	0,14	0,04
<b>8</b>	0,15	0,10	0,10	-0,04	0,09	0,05	0,03	0,02	-0,03
<b>9</b>	0,07	0,15	0,09	-0,02	-0,05	-0,10	-0,20	0,07	-0,01
<b>10</b>	-0,25	-0,32	-0,56	0,01	-0,03	-0,01	0,08	0,05	-0,27
<b>11</b>	-0,03	-0,12	-0,23	-0,07	0,04	0,07	0,29	0,20	0,27
<b>12</b>	-1,52	-1,69	-1,60	0,03	0,05	-0,05	-0,30	0,22	-0,24
<b>13</b>	0,06	0,15	-0,33	-0,04	-0,04	-0,05	-0,09	-0,19	-0,19
<b>14</b>	0,02	0,12	0,05	-0,11	-0,05	-0,03	0,15	0,17	0,15
<b>15</b>	-0,25	-0,15	-0,19	-0,01	0,03	0,01	-0,15	-0,17	-0,13
<b>16</b>	0,30	0,26	0,01	-0,04	-0,01	-0,04	-0,15	-0,03	-0,27
<b>17</b>	0,55	0,14	0,31	-0,12	-0,05	-0,02	0,25	0,23	0,01
<b>18</b>	0,17	0,20	-0,25	0,07	0,23	0,09	-0,20	-0,14	-0,20
<b>19</b>	0,24	0,17	-0,35	0,20	-0,07	0,23	0,02	0,04	-0,04
<b>20</b>	-0,30	-0,15	-0,21	0,08	-0,05	-0,05	-0,10	-0,15	-0,11
<b>21</b>	-0,01	0,10	0,15	-0,15	0,31	-0,03	-0,03	-0,05	0,03
<b>22</b>	-0,12	-0,11	-0,04	-0,07	-0,07	-0,06	-0,10	-0,07	0,01

Tab. 1 Naměřené zbytkové magnetické pole etalonů oceli 14019.4

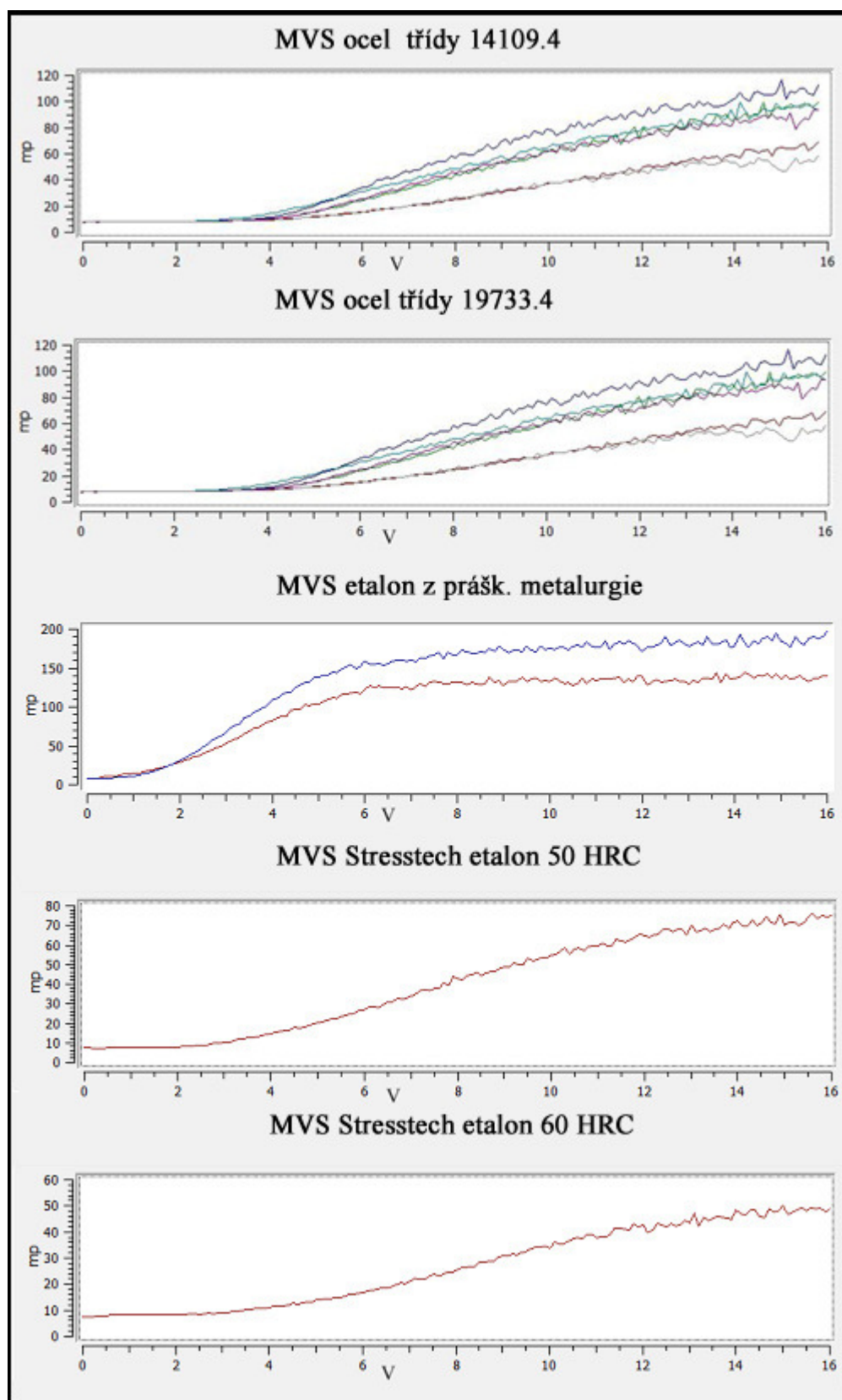
Zbytkové magnetické pole									
materiál	19733.4								
etalon	1			2			3		
opakování	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
pozice měření	Naměřené hodnoty [kAm]								
1	-0,07	-0,04	-0,07	0,12	-0,31	-0,23	0,58	0,5	0,57
2	-0,1	-0,09	-0,09	-0,42	-0,46	-0,44	-0,33	0,08	-0,42
3	-0,14	-0,13	-0,22	-0,34	-0,5	-0,47	-0,07	-0,03	0,2
4	-0,01	-0,06	-0,03	-0,22	-0,23	-0,08	0,25	0,24	0,27
5	-0,09	-0,05	-0,07	-0,05	-0,03	0,01	0,01	0,05	0,09
6	-0,06	-0,07	-0,01	0,07	0,01	0,03	0,06	-0,17	0,07
7	-0,03	-0,01	-0,13	0,06	0,06	0,03	0,23	-0,23	0,34
8	-0,05	-0,05	-0,07	0,1	0,04	0,05	0,01	-0,2	0,01
9	-0,04	-0,02	-0,05	-0,03	-0,01	-0,01	-0,11	-0,1	-0,13
10	-0,04	-0,04	-0,05	0,08	-0,25	0,01	-0,05	0,03	-0,13
11	-0,05	-0,07	-0,09	0,42	-0,49	-0,41	0,34	0,2	0,09
12	0,01	-0,08	-0,05	-0,1	-0,04	-0,04	-0,85	-0,91	-1,19
13	0,03	-0,06	-0,08	-0,01	0,07	0,02	0,27	0,33	0,4
14	-0,03	-0,05	-0,07	-0,05	-0,1	-0,21	-0,11	-0,09	-0,15
15	-0,04	-0,05	-0,07	-0,01	-0,05	-0,02	-0,78	-0,27	-0,66
16	-0,04	-0,06	-0,09	0,14	0,01	0,05	0,16	0,19	0,15
17	-0,02	-0,03	-0,02	-0,1	-0,02	0,03	-0,15	-0,18	-0,2
18	-0,03	-0,05	-0,03	0,1	0,01	0,02	-0,07	-0,25	-0,19
19	-0,1	-0,13	-0,15	-0,25	-0,15	-0,23	0,23	0,19	0,22
20	-0,08	0,07	-0,1	-0,05	-0,07	-0,07	0,16	0,2	0,24
21	-0,1	-0,07	-0,13	-0,07	-0,06	-0,1	0,07	0,11	0,08
22	-0,09	-0,11	-0,09	0,05	0,03	-0,03	-0,2	-0,25	-0,21

Tab. 2 Naměřené zbytkové magnetické pole etalonů oceli 19733.4

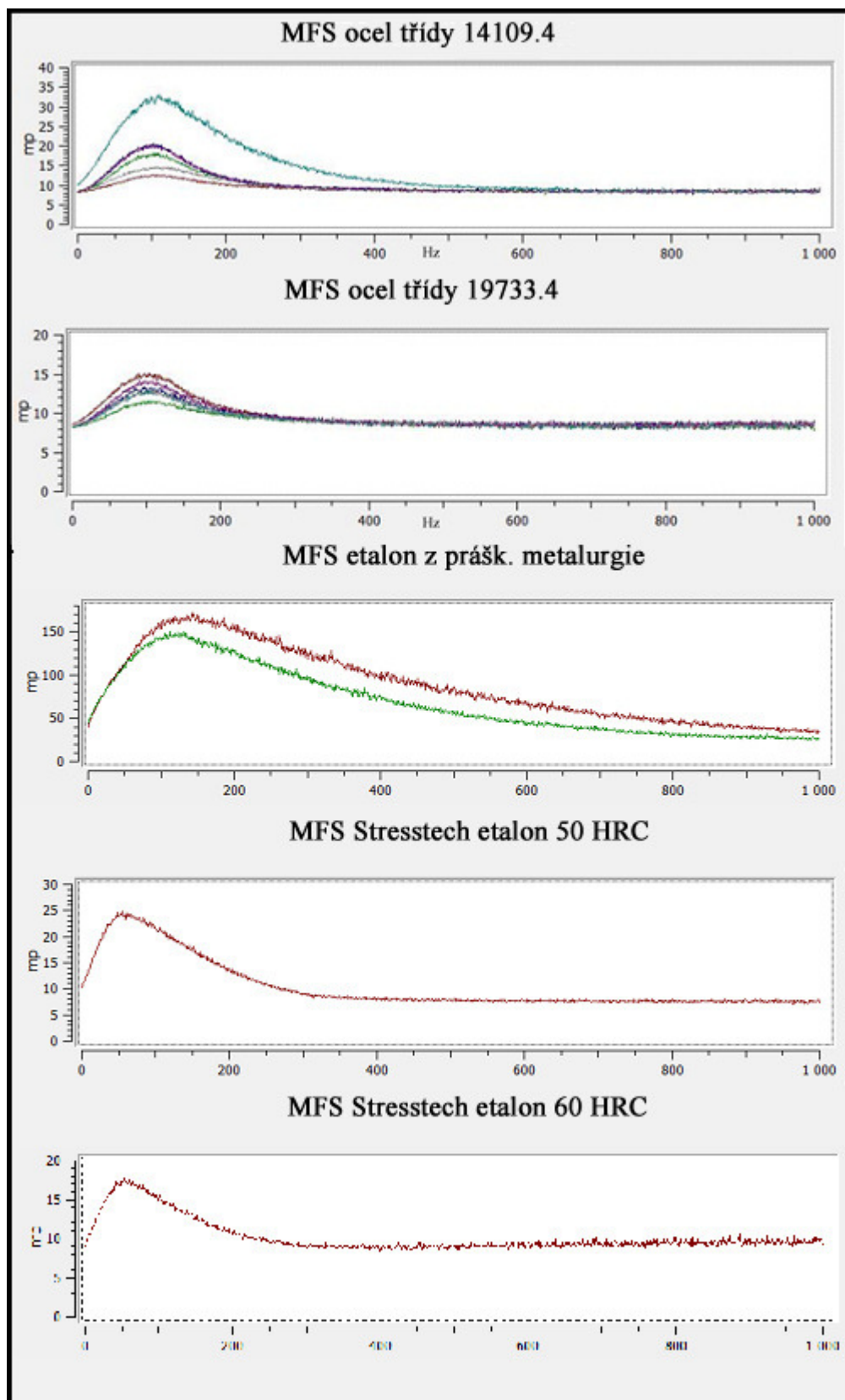
Zbytkové magnetické pole						
materiál	14109.4			19733.4		
etalon	1	2	3	1	2	3
pozice měření	ø[kAm]					
1	0,003	0,047	0,07	-0,06	-0,14	0,55
2	-0,193	0,113	0,043	-0,093	-0,44	-0,223
3	-0,447	0,067	-0,017	-0,163	-0,437	0,033
4	-0,017	-0,093	0,26	-0,033	-0,177	0,253
5	-0,1	0,053	0,143	-0,07	-0,023	0,05
6	-0,113	0	-0,017	-0,047	0,037	-0,013
7	0,333	-0,107	0,067	-0,057	0,05	0,113
8	0,117	0,033	0,007	-0,057	0,063	-0,06
9	0,103	-0,057	-0,047	-0,037	-0,017	-0,113
10	-0,377	-0,01	-0,047	-0,043	-0,053	-0,05
11	-0,127	0,013	0,253	-0,07	-0,16	0,21
12	-1,603	0,01	-0,107	-0,04	-0,06	-0,983
13	-0,04	-0,043	-0,157	-0,037	0,027	0,333
14	0,063	-0,063	0,157	-0,05	-0,12	-0,117
15	-0,197	0,01	-0,15	-0,053	-0,027	-0,57
16	0,19	-0,03	-0,15	-0,063	0,067	0,167
17	0,333	-0,063	0,163	-0,023	-0,03	-0,177
18	0,04	0,13	-0,18	-0,037	0,043	-0,17
19	0,02	0,12	0,007	-0,127	-0,21	0,213
20	-0,22	-0,007	-0,12	-0,037	-0,063	0,2
21	0,08	0,043	-0,017	-0,1	-0,077	0,087
22	-0,09	-0,067	-0,053	-0,097	0,017	-0,22

Tab. 3 Zprůměrované magnetické pole etalonů oceli 14109.4 a 19733.4

**Příloha IV – Grafy pro stanovení optimálního měření mp**



Obr. 1 Grafy měření MVS pro stanovení optimálního měření mp



Obr. 2 Grafy měření MFS pro stanovení optimálního měření mp

**Příloha V – Naměřené hodnoty mp**

<b>"1. kalibrační etalon " oceli 14 109.4</b>					
<b>úhel měření 0°</b>					
<b>pozice měření</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>
<b>opakování</b>	<b>Naměřené hodnoty [mp]</b>				
<b>1.</b>	61,8	62,7	112,1	21,8	15,5
<b>2.</b>	68,5	66,5	116,8	21,5	23,4
<b>3.</b>	64,9	62,8	115,9	19,1	23,4
<b>4.</b>	65,4	73,3	105,2	20,7	23,2
<b>5.</b>	62,5	73,0	108,1	19,6	22,0
<b>Konf. interval</b>	<b>64,62 ± 3,69</b>	<b>67,66 ± 7,28</b>	<b>111,62 ± 6,91</b>	<b>20,54 ± 1,63</b>	<b>21,50 ± 4,73</b>
<b>úhel měření 30°</b>					
<b>pozice měření</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>
<b>opakování</b>	<b>Naměřené hodnoty [mp]</b>				
<b>1.</b>	71,9	54,9	95,1	21,4	17,8
<b>2.</b>	69,0	56,5	96,9	21,1	21,0
<b>3.</b>	64,3	60,4	104,5	16,6	18,4
<b>4.</b>	73,8	51,3	95,7	18,5	21,7
<b>5.</b>	68,7	60,3	97,8	19,7	22,0
<b>Konf. interval</b>	<b>69,54 ± 5,01</b>	<b>56,68 ± 5,34</b>	<b>98,00 ± 5,25</b>	<b>19,46 ± 2,74</b>	<b>20,18 ± 2,70</b>
<b>úhel měření 60°</b>					
<b>pozice měření</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>
<b>opakování</b>	<b>Naměřené hodnoty [mp]</b>				
<b>1.</b>	45,3	41,4	68,9	18,9	19,6
<b>2.</b>	46,2	39,2	65,9	16,0	20,8
<b>3.</b>	50,0	39,7	67,6	18,8	17,8
<b>4.</b>	46,2	31,6	64,3	20,8	18,8
<b>5.</b>	42,2	36,2	63,1	17,8	18,9
<b>Konf. interval</b>	<b>45,98 ± 3,87</b>	<b>37,62 ± 5,35</b>	<b>65,96 ± 3,28</b>	<b>18,46 ± 2,43</b>	<b>19,18 ± 1,54</b>
<b>úhel měření 90°</b>					
<b>pozice měření</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>
<b>opakování</b>	<b>Naměřené hodnoty [mp]</b>				
<b>1.</b>	39,6	42,7	65,8	18,4	18,9
<b>2.</b>	35,5	43,4	55,8	17,8	16,7
<b>3.</b>	34,6	39,3	64,3	22,0	19,5
<b>4.</b>	39,1	38,2	59,5	20,3	17,5
<b>5.</b>	45,4	38,1	61,4	21,2	16,0
<b>Konf. interval</b>	<b>38,84 ± 5,92</b>	<b>40,34 ± 3,51</b>	<b>61,36 ± 5,50</b>	<b>19,94 ± 2,49</b>	<b>17,72 ± 2,04</b>

úhel měření 120°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	44,6	42,7	70,4	21,3	18,5
2.	39,7	39,1	70,1	28,7	19,2
3.	33,7	42,5	68,4	18,4	19,5
4.	44,7	37,8	73,6	27,7	19,4
5.	38,2	43,6	81,1	25,4	17,9
Konf. interval	40,18 ± 6,44	41,14 ± 3,52	72,72 ± 7,01	24,30 ± 6,05	18,90 ± 0,95
úhel měření 150°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	64,5	65,8	109,6	20,2	22,2
2.	66,0	69,9	106,0	22,1	20,5
3.	63,1	68,2	106,3	21,5	22,3
4.	60,3	71,7	100,8	21,9	20,1
5.	60,2	70,2	107,7	21,2	20,5
Konf. interval	62,82 ± 3,55	69,16 ± 3,13	106,08 ± 4,55	21,38 ± 1,04	21,12 ± 1,45
úhel měření 180°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	70,0	80,3	116,5	22,1	23,2
2.	67,2	77,3	118,9	19,4	22,3
3.	75,5	80,0	120,0	22,7	23,0
4.	76,9	74,9	120,0	23,1	22,2
5.	66,8	72,0	107,9	23,4	21,4
Konf. interval	71,28 ± 6,50	76,90 ± 4,88	116,66 ± 7,08	22,14 ± 2,23	22,42 ± 0,99
úhel měření 210°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	57,9	62,4	102,1	23,2	21,3
2.	57,5	62,5	112,8	16,6	22,0
3.	55,1	59,3	111,8	21,6	21,4
4.	60,1	62,7	110,8	22,8	22,4
5.	55,2	59,1	102,7	22,6	22,2
Konf. interval	57,16 ± 2,89	61,20 ± 2,54	108,04 ± 7,22	21,36 ± 3,78	21,86 ± 0,68



úhel měření 240°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	36,3	46,3	67,0	17,5	16,7
2.	41,5	44,4	70,5	19,8	17,4
3.	45,4	48,9	69,1	21,3	18,6
4.	47,4	45,0	68,6	22,5	16,4
5.	45,0	46,5	66,2	16,6	18,2
Konf. interval	43,12 ± 6,06	46,22 ± 2,41	68,28 ± 2,37	19,54 ± 3,45	17,46 ± 1,31
úhel měření 270°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	39,6	43,6	54,2	18,1	16,5
2.	35,5	46,0	54,7	18,2	16,9
3.	39,2	43,4	53,8	18,8	17,0
4.	35,2	50,4	59,1	17,3	17,6
5.	39,7	43,3	59,2	17,1	17,4
Konf. interval	37,84 ± 3,17	45,3 ± 4,22	56,20 ± 3,76	17,90 ± 0,97	17,08 ± 0,60
úhel měření 300°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	46,1	48,9	69,9	17,1	14,7
2.	40,7	54,3	64,5	18,4	17,2
3.	43,7	56,5	63,7	16,8	17,0
4.	43,7	55,9	63,8	13,8	17,6
5.	44,7	49,7	63,8	15,4	19,4
Konf. interval	43,78 ± 2,75	53,06 ± 4,91	65,14 ± 3,7	16,30 ± 2,44	17,18 ± 2,33
úhel měření 330°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	61,5	69,2	96,0	19,0	17,1
2.	67,0	69,7	99,1	19,1	20,7
3.	59,8	64,7	94,5	20,6	20,0
4.	57,1	76,6	97,3	20,8	20,8
5.	66,3	75,8	104,2	20,4	20,9
Konf. interval	62,34 ± 5,89	71,20 ± 6,90	98,22 ± 5,20	19,98 ± 1,20	19,90 ± 2,23

Tab. 1 Naměřené hodnoty 1. kalibračního etalonu oceli 14109.4

etalon "2. kalibrační etalon " oceli 14 109.4					
úhel měření 0°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	32,6	29,6	110,5	41,3	30,6
2.	33,8	35,2	108,8	44,5	33,8
3.	34,0	34,7	111,4	41,0	32,0
4.	32,0	36,8	106,8	37,0	32,4
5.	31,7	35,0	101,8	41,4	31,8
Konf. interval	32,82 ± 1,44	34,26 ± 3,79	107,86 ± 5,30	41,04 ± 3,70	32,12 ± 1,60
úhel měření 30°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	29,5	31,5	97,9	33,4	30,8
2.	27,4	32,6	103,9	33,5	32,0
3.	26,7	30,6	103,5	34,6	32,5
4.	28,7	30,1	100,2	33,1	32,2
5.	30,6	31,2	99,6	34,8	28,4
Konf. interval	28,58 ± 2,18	31,20 ± 1,32	101,02 ± 3,60	33,88 ± 1,06	31,18 ± 2,34
úhel měření 60°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	22,5	19,3	23,6	23,6	28,0
2.	21,8	20,1	26,1	33,5	28,1
3.	21,6	19,7	29,4	29,4	28,4
4.	20,4	19,1	26,7	33,4	26,1
5.	20,1	20,4	30,3	33,3	26,8
Konf. interval	21,28 ± 1,39	19,72 ± 0,75	27,22 ± 3,73	31,98 ± 2,74	27,48 ± 1,37
úhel měření 90°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	19,3	18,8	61,4	26,1	25,6
2.	20,6	20,4	57,4	35,4	28,9
3.	20,7	22,5	59,6	35,4	29,0
4.	19,3	20,3	58,8	35,5	26,8
5.	19,9	22,3	59,7	34,0	27,4
Konf. interval	19,96 ± 0,94	20,86 ± 2,14	59,38 ± 2,02	33,28 ± 5,64	27,54 ± 2,00

úhel měření 120°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	19,9	21,6	59,9	32,2	27,0
2.	19,7	19,8	57,2	31,1	27,0
3.	16,7	22,3	56,0	34,0	25,8
4.	20,2	21,2	59,6	34,7	16,1
5.	20,4	19,3	63,2	21,7	22,2
Konf. interval	19,38 ± 2,11	20,84 ± 1,74	59,18 ± 3,86	30,74 ± 7,29	23,62 ± 6,44
úhel měření 150°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	22,0	20,6	72,4	37,9	31,8
2.	25,2	24,8	75,5	40,6	30,1
3.	24,9	26,9	79,6	37,1	31,3
4.	24,4	28,3	81,1	41,3	34,7
5.	25,7	24,1	75,9	42,5	35,0
Konf. interval	24,44 ± 2,00	24,94 ± 4,09	76,90 ± 4,82	39,88 ± 3,18	32,58 ± 3,01
úhel měření 180°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	32,3	33,7	108,9	46,3	44,2
2.	32,1	33,5	106,0	44,4	44,3
3.	35,0	33,4	106,5	43,4	43,9
4.	30,6	35,6	107,5	44,1	43,7
5.	34,0	35,1	106,8	48,0	40,3
Konf. interval	32,80 ± 2,39	34,26 ± 1,41	107,14 ± 1,56	45,24 ± 2,61	43,28 ± 2,34
úhel měření 210°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	28,6	33,1	110,5	41,0	34,2
2.	28,5	33,3	102,8	45,3	36,7
3.	29,6	31,5	99,6	38,5	39,9
4.	28,9	30,4	98,7	45,2	36,0
5.	30,4	30,9	103,7	40,8	39,3
Konf. interval	29,20 ± 1,11	31,84 ± 1,81	103,06 ± 6,47	42,16 ± 4,15	37,22 ± 3,28

úhel měření 240°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	22,6	21,3	72,8	36,6	23,7
2.	23,2	24,7	65,4	34,2	26,1
3.	22,9	22,9	70,9	34,2	26,1
4.	21,6	24,9	66,4	31,5	29,0
5.	22,7	24,6	77,4	30,2	25,2
Konf. interval	22,60 ± 0,84	23,68 ± 2,16	70,58 ± 6,80	33,34 ± 3,49	26,02 ± 2,68
úhel měření 270°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	22,7	19,3	36,3	33,4	23,3
2.	22,5	20,2	36,7	38,1	24,2
3.	21,0	20,7	34,8	40,2	24,4
4.	19,6	20,1	31,5	39,2	25,7
5.	20,4	20,3	42,3	36,0	24,1
Konf. interval	21,24 ± 1,86	20,1 ± 0,71	36,32 ± 5,44	37,38 ± 3,77	24,34 ± 1,20
úhel měření 300°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	20,4	22,3	62,2	34,8	22,7
2.	20,3	22,3	63,5	36,9	23,9
3.	22,8	21,6	66,8	39,4	23,9
4.	22,4	20,9	62,3	41,1	24,3
5.	22,7	21,8	56,5	36,8	24,9
Konf. interval	21,72 ± 1,75	21,78 ± 0,81	62,26 ± 5,2	37,80 ± 3,42	23,94 ± 1,12
úhel měření 330°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	26,4	29,8	87,1	40,1	26,9
2.	24,1	34,2	88,6	38,2	26,6
3.	28,3	32,1	97,1	38,3	27,8
4.	27,7	29,2	91,2	42,7	26,1
5.	29,4	35,3	87,6	40,1	27,5
Konf. interval	27,18 ± 2,82	32,12 ± 3,70	90,32 ± 5,70	39,88 ± 2,54	26,98 ± 0,95

Tab. 2 Naměřené hodnoty 2. kalibračního etalonu oceli 14109.4

etalon "denního nastavení " oceli 19 733.4					
úhel měření 0°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	75,5	91,2	69,6	60	68,7
2.	74,3	95,6	69,7	59,4	69,3
3.	71,6	95	73,1	63	71,1
4.	69,5	96,7	73,2	61,3	70,7
5.	72,1	98,9	72,6	58,8	75,7
Konf. interval	72,60 ± 3,27	95,48 ± 3,91	71,64 ± 2,54	60,50 ± 2,33	71,10 ± 3,82
úhel měření 30°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	42,6	51,8	37,6	35,8	68
2.	42,3	50,7	39,7	37,3	70,1
3.	42	51,2	41,9	37,4	69,3
4.	39,1	45,6	43,5	37,5	71,6
5.	42,9	52,6	41,7	35,8	68,9
Konf. interval	41,78 ± 2,13	50,38 ± 3,84	40,88 ± 3,16	36,76 ± 1,22	69,58 ± 1,89
úhel měření 60°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	33,3	35,3	38,2	27,1	37,6
2.	31,6	40,7	36,8	27,6	38,2
3.	32,2	40,5	36,2	27,2	39,2
4.	32,1	39,7	34,8	28,5	39,9
5.	31,9	41	41	29,8	38,6
Konf. interval	32,22 ± 0,90	39,44 ± 3,28	37,40 ± 3,27	28,04 ± 1,57	38,70 ± 1,23
úhel měření 90°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	31,5	36,3	31,9	29,9	36,7
2.	33,3	37,3	31,2	30,5	34,1
3.	32,7	37,5	31,1	31,9	34,3
4.	30,7	40,2	30,9	31,3	37,3
5.	33,8	40,2	30,1	28,2	36,3
Konf. interval	32,40 ± 1,78	38,30 ± 2,49	31,04 ± 0,90	30,36 ± 1,98	35,74 ± 2,02

úhel měření 120°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	44	57,7	44,3	43,2	55,9
2.	46,5	55,2	45,3	43,5	54,7
3.	46,9	56,1	47,3	46,1	56,3
4.	49	54,9	47,7	44	51,4
5.	48,4	55,1	47,4	42,9	53,1
Konf. interval	46,96 ± 2,71	55,80 ± 1,61	46,40 ± 2,10	43,94 ± 1,77	54,28 ± 2,83
úhel měření 150°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	65,5	99	71	54,3	73,4
2.	66,5	97,4	68,9	55,6	75,3
3.	69,8	96,6	72,9	56,8	69,6
4.	68,2	101	70	56	71,6
5.	68,6	99	68,5	57	71,3
Konf. interval	67,72 ± 2,38	98,60 ± 2,36	70,26 ± 2,46	55,94 ± 1,50	72,24 ± 3,02
úhel měření 180°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	67,5	91,2	77,2	65,5	64,3
2.	69,4	91	77,1	62,6	65,3
3.	68,6	94,6	78,2	66,7	64,5
4.	69,3	96,8	75,7	63,6	65,6
5.	69,4	93,4	74,8	64,7	63,8
Konf. interval	68,84 ± 1,14	93,40 ± 3,37	76,60 ± 1,87	64,62 ± 2,22	64,70 ± 1,02
úhel měření 210°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	52,3	59,9	44,9	48,4	53,1
2.	54,3	60,5	47,7	47,6	55
3.	53,3	58,9	48,9	48,7	51,1
4.	51	56,9	48,8	46,4	52,2
5.	51,3	59,4	48,6	44,9	51,1
Konf. interval	52,44 ± 1,9	59,1 ± 1,9	47,78 ± 2,3	47,2 ± 2,2	52,5 ± 2,3

úhel měření 240°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	31	35,4	31,4	34,4	34,6
2.	31,5	35,2	33,4	33,8	35,5
3.	33,1	40,3	33,2	34,5	37,8
4.	33,6	40,8	34,4	35,5	36,7
5.	33,5	39,2	34,1	34,7	36,9
Konf. interval	32,54 ± 1,67	38,18 ± 3,74	33,30 ± 1,62	34,58 ± 0,85	36,30 ± 1,74
úhel měření 270°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	35,4	38,2	30,8	32,7	36,2
2.	37,9	40,3	31,8	34,1	33
3.	38,7	36,6	31,4	30,5	35,4
4.	40,9	38,2	33,6	32,2	38,3
5.	40	42,3	32,6	35,6	37,1
Konf. interval	38,58 ± 2,94	39,10 ± 3,07	32,04 ± 1,51	33,02 ± 2,68	36,00 ± 2,77
úhel měření 300°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	43,1	52,6	39	46,6	44,9
2.	42,2	52	40,3	40,7	44,7
3.	42,8	52,4	38,9	43,9	47,9
4.	44,8	51,2	44,4	45,9	47,1
5.	43,7	51,5	44	47,9	49,1
Konf. interval	43,32 ± 1,37	51,94 ± 0,82	41,32 ± 3,73	45,00 ± 3,89	46,74 ± 2,65
úhel měření 330°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	70,6	85,1	54,5	76,9	70,5
2.	69,6	89	56,4	74,7	70,2
3.	68,4	87,9	55	78,3	70,9
4.	69,2	87	54,7	75,7	67,3
5.	67,9	87,2	57,7	75,3	76,1
Konf. interval	69,14 ± 1,46	87,24 ± 1,98	55,66 ± 1,89	76,18 ± 1,99	71,00 ± 4,42

Tab. 3 Naměřené hodnoty etalonu denního nastavení oceli 19733.4

etalon "1. kalibrační etalon" oceli 19 733.4					
úhel měření 0°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	50,6	53,9	41,0	41,0	33,9
2.	46,0	46,6	41,8	41,8	38,0
3.	52,4	49,0	41,7	41,7	36,2
4.	55,9	49,7	43,3	43,3	37,8
5.	50,3	47,3	44,2	44,2	36,7
Konf. interval	51,04 ± 4,99	49,30 ± 3,97	42,40 ± 1,82	42,40 ± 1,82	36,52 ± 2,28
úhel měření 30°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	39,2	35,0	28,6	14,2	31,4
2.	35,2	35,4	28,2	14,5	26,7
3.	38,8	35,5	30,1	14,8	33,7
4.	39,5	35,9	29,9	14,6	33,5
5.	37,8	34,7	24,3	14,6	33,5
Konf. interval	38,10 ± 2,42	35,30 ± 0,64	28,22 ± 3,25	14,54 ± 0,30	31,76 ± 4,14
úhel měření 60°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	28,4	31,1	25,9	13,0	23,2
2.	27,0	30,8	26,8	13,7	22,5
3.	30,2	31,1	26,8	14,3	22,7
4.	25,9	29,2	25,5	13,7	21,9
5.	28,4	27,6	26,6	13,8	20,9
Konf. interval	27,98 ± 2,26	29,96 ± 2,13	26,32 ± 0,82	13,70 ± 0,64	22,24 ± 1,22
úhel měření 90°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	35,8	26,3	25,5	19,2	24,2
2.	34,1	26,1	28,4	18,9	26,1
3.	32,6	28,2	28,9	18,9	24,0
4.	31,5	27,3	28,4	19,7	24,6
5.	30,1	27,0	28,1	18,3	23,3
Konf. interval	32,82 ± 3,08	26,98 ± 1,17	27,86 ± 1,87	19,00 ± 0,71	24,44 ± 1,44



úhel měření 120°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	32	25,9	25,9	18,5	28,3
2.	31,3	26,1	26,0	18,9	26,5
3.	31,3	26,7	25,8	19,1	26,9
4.	31,0	28,6	25,2	19,4	28,6
5.	31,8	27,5	26,5	18,1	28,7
Konf. interval	31,48 ± 0,57	26,96 ± 1,54	25,88 ± 0,65	18,80 ± 0,71	27,80 ± 1,42
úhel měření 150°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	35,8	33,0	29,5	27,5	32,1
2.	34,7	32,7	30,0	30,4	33,6
3.	36,7	33,1	28,9	27,9	30,6
4.	35,6	32,9	29,3	27,1	35,8
5.	35,9	33,9	28,9	27,4	34,8
Konf. interval	35,74 ± 0,99	33,12 ± 0,64	29,32 ± 0,64	28,06 ± 1,86	33,38 ± 2,89
úhel měření 180°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	48,3	46,0	36,6	41,9	45,4
2.	48,8	44,7	33,7	35,5	38,7
3.	49,7	44,5	37,2	34,8	41,6
4.	47,8	44,0	38,0	39,1	46,8
5.	50,2	43,5	36,7	41,9	45,8
Konf. interval	48,96 ± 1,37	44,54 ± 1,30	36,44 ± 2,26	38,64 ± 4,71	43,66 ± 4,72
úhel měření 210°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	40,8	38,9	33,3	25,4	34,3
2.	39,8	37,0	34,3	27,8	34,9
3.	41,0	37,9	34,7	28,6	35,5
4.	42,2	38,6	34,6	26,9	33,8
5.	41,1	39,8	34,4	24,2	34,4
Konf. interval	40,98 ± 1,19	38,44 ± 1,46	34,26 ± 0,78	26,58 ± 2,48	34,58 ± 0,90

úhel měření 240°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	27,9	26,2	24,5	13,4	19,6
2.	29,8	25,8	24,7	15,7	19,9
3.	28,6	25,9	25,0	17,7	20,7
4.	28,8	27,2	24,7	14,7	19,6
5.	31,4	27,5	25,3	15,2	19,5
Konf. interval	29,30 ± 1,88	26,52 ± 1,08	24,84 ± 0,43	15,34 ± 2,18	19,86 ± 0,68
úhel měření 270°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	28,8	26,6	25,2	13,6	17,4
2.	29,7	25,6	25,5	13,6	17,5
3.	29,6	26,4	25,8	17,8	18,6
4.	30,0	25,4	25,2	17,4	17,8
5.	29,8	26,4	25,4	16,3	18,8
Konf. interval	29,58 ± 0,64	26,1 ± 0,75	25,52 ± 0,45	15,74 ± 2,82	18,02 ± 0,89
úhel měření 300°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	29,0	29,7	27,2	19,1	19,3
2.	27,9	24,1	25,1	19,4	19,9
3.	28,6	24,2	25,4	19,0	20,5
4.	29,3	24,6	25,5	20,2	20,8
5.	30,8	24,4	18,8	20,7	22,3
Konf. interval	29,12 ± 1,49	25,40 ± 3,35	24,4 ± 4,49	19,68 ± 1,03	20,56 ± 1,57
úhel měření 330°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	35,2	33,8	34,4	31,3	26,6
2.	35,6	34,6	35,1	33,7	24,1
3.	35,8	36,3	35,5	25,7	24,8
4.	37,9	37,1	36,8	30,5	28,5
5.	40,0	36,5	36,2	30,1	29,1
Konf. interval	36,90 ± 2,81	35,66 ± 1,94	35,60 ± 1,30	30,26 ± 4,03	26,62 ± 3,05

Tab. 4 Naměřené hodnoty 1. kalibračního etalonu oceli 19733.4

etalon "2. kalibrační etalon" oceli 19 733.4					
úhel měření 0°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	78,0	89,7	60,2	60,2	65,9
2.	83,0	87,8	58,9	61,1	66,8
3.	79,3	87,1	54,7	57,7	66,6
4.	85,3	83,2	57,3	54,7	68,3
5.	80,9	91,6	58,1	54,8	68,8
Konf. interval	81,30 ± 4,04	87,88 ± 4,37	57,84 ± 2,85	57,70 ± 4,12	67,28 ± 1,69
úhel měření 30°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	71,2	78,1	56,5	74,7	65,6
2.	71,4	76,8	56,6	70,0	61,3
3.	74,2	73,7	51,8	71,6	60,1
4.	73,9	76,5	56,4	72,2	64,3
5.	74,0	79,6	56,3	72,3	61,1
Konf. interval	72,94 ± 2,09	76,94 ± 3,04	55,52 ± 2,89	72,16 ± 2,35	62,48 ± 3,26
úhel měření 60°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	42,1	42,6	43,1	45,6	49,8
2.	49,8	37,2	41,0	48,1	48,7
3.	45,0	35,1	41,9	49,4	49,0
4.	47,0	36,7	42,2	46,8	50,5
5.	48,5	37,3	42,2	48,3	50,6
Konf. interval	46,48 ± 4,21	37,78 ± 3,94	42,08 ± 1,05	47,64 ± 2,04	49,72 ± 1,19
úhel měření 90°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	34,2	34,0	30,8	37,6	33,4
2.	34,1	31,1	31,0	35,2	32,6
3.	34,5	33,0	31,5	35,3	32,8
4.	31,4	35,5	31,9	35,2	32,7
5.	34,5	35,9	31,2	36,3	36,2
Konf. interval	33,74 ± 1,83	33,90 ± 2,71	31,28 ± 0,60	35,92 ± 1,45	33,54 ± 2,11

úhel měření 120°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	32	25,9	25,9	18,5	28,3
2.	31,3	26,1	26,0	18,8	26,5
3.	31,1	26,7	25,8	19,1	26,9
4.	31,8	28,6	25,2	19,4	28,6
5.	31,3	27,5	26,5	18,4	28,7
Konf. interval	31,50 ± 0,53	26,96 ± 1,54	25,88 ± 0,65	18,84 ± 0,58	27,80 ± 1,42
úhel měření 150°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	35,8	33,0	29,5	27,5	32,1
2.	34,7	32,7	30,0	30,4	33,6
3.	36,7	33,1	28,9	27,9	30,6
4.	35,6	32,9	29,3	29,3	35,7
5.	35,9	32,1	28,9	27,4	34,8
Konf. interval	35,74 ± 0,99	32,76 ± 0,55	29,32 ± 0,64	28,50 ± 1,81	33,36 ± 2,85
úhel měření 180°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	48,3	46,0	36,6	41,9	45,4
2.	48,8	44,7	33,7	35,5	38,7
3.	49,7	44,5	37,2	34,8	41,6
4.	47,8	44,0	38,0	39,1	46,8
5.	50,2	43,5	36,7	41,9	45,8
Konf. interval	48,96 ± 1,37	44,54 ± 1,30	36,44 ± 2,26	38,64 ± 4,71	43,66 ± 4,72
úhel měření 210°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	40,8	38,9	33,3	25,4	34,3
2.	39,8	37,0	34,3	27,8	34,9
3.	41,0	37,9	34,7	28,6	35,5
4.	42,2	38,6	34,6	26,9	33,8
5.	41,1	39,8	34,4	24,2	34,4
Konf. interval	40,98 ± 1,19	38,44 ± 1,46	34,26 ± 0,78	26,58 ± 2,48	34,58 ± 0,90

úhel měření 240°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	27,9	26,2	24,5	13,4	19,6
2.	29,8	25,8	24,7	15,7	19,9
3.	28,6	25,9	25,0	15,7	19,7
4.	28,8	27,2	24,7	14,7	19,6
5.	31,4	27,5	25,3	15,2	19,3
Konf. interval	29,30 ± 1,88	26,52 ± 1,08	24,84 ± 0,43	14,94 ± 1,33	19,62 ± 0,30
úhel měření 270°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	28,8	26,6	25,2	13,6	17,4
2.	29,7	25,6	25,5	13,6	17,5
3.	29,6	26,4	25,7	17,8	17,6
4.	30,0	26,4	25,2	17,4	17,8
5.	29,8	25,4	25,4	16,3	18,8
Konf. interval	29,58 ± 0,64	26,1 ± 0,75	25,40 ± 0,29	15,74 ± 2,82	17,82 ± 0,79
úhel měření 300°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	29,0	29,7	27,2	19,1	19,3
2.	27,9	24,1	25,1	19,4	19,9
3.	28,6	24,2	25,4	19,0	20,5
4.	29,3	24,6	25,5	20,2	20,8
5.	30,8	24,4	18,8	20,7	22,3
Konf. interval	29,12 ± 1,49	25,40 ± 3,35	24,4 ± 4,49	19,68 ± 1,03	20,56 ± 1,57
úhel měření 330°					
pozice měření	1.	2.	3.	4.	5.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]				
1.	46,6	55,0	37,9	68,7	41,8
2.	46,9	58,8	38,3	64,9	40,6
3.	46,5	57,8	38,2	65,2	40,0
4.	50,5	58,8	37,9	62,5	41,5
5.	50,7	59,5	38,5	64,6	40,5
Konf. interval	48,24 ± 3,00	57,98 ± 2,46	38,16 ± 0,36	65,18 ± 3,10	40,88 ± 1,04

Tab. 5 Naměřené hodnoty 2. kalibračního etalonu oceli 19733.4

etalon "denního nastavení" oceli pískovaný			etalon "denního nastavení" oceli pískovaný		
úhel měření 0°			úhel měření 90°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	459,1	454,7	1.	136,6	138,8
2.	469,0	468,6	2.	138,6	136,8
3.	428,5	465,8	3.	129,8	146,0
4.	449,7	472,4	4.	146,1	132,4
5.	445,9	472,6	5.	155,0	120,8
Konf. interval	450,44 ± 21,08	466,82 ± 10,19	Konf. interval	141,22 ± 13,39	134,96 ± 12,93
úhel měření 30°			úhel měření 120°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	330,8	381,7	1.	150,3	234,2
2.	335,5	396,0	2.	163,9	193,9
3.	339,4	393,7	3.	158,5	213,6
4.	324,9	400,1	4.	161,6	219,0
5.	335,2	381,9	5.	165,7	232,3
Konf. interval	333,16 ± 7,68	390,68 ± 11,69	Konf. interval	160,00 ± 8,40	218,60 ± 22,67
úhel měření 60°			úhel měření 150°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	168,4	171,1	1.	510,9	723,5
2.	166,4	187,0	2.	461,7	726,1
3.	169,4	188,7	3.	501,2	727,7
4.	162,7	186,5	4.	504,5	696,6
5.	162,7	175,8	5.	541,6	727,7
Konf. interval	165,92 ± 4,35	181,82 ± 10,91	Konf. interval	503,98 ± 39,62	720,32 ± 18,56

etalon "denního nastavení" oceli pískovaný			etalon "denního nastavení" oceli pískovaný		
úhel měření 210°			úhel měření 270°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	405,2	443,4	1.	141,3	135,4
2.	418,5	436,3	2.	151,8	156,8
3.	421,9	441,9	3.	131,4	136,3
4.	416,7	441,7	4.	133,0	134,6
5.	418,1	463,0	5.	131,4	148,1
Konf. interval	416,08 ± 8,85	445,26 ± 14,27	Konf. interval	137,78 ± 12,28	142,24 ± 13,65
úhel měření 240°			úhel měření 300°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	283,4	230,4	1.	214,5	200,5
2.	281,8	229,7	2.	227,7	209,2
3.	290,1	231,1	3.	221,0	207,2
4.	251,7	235,7	4.	226,6	205,2
5.	283,7	255,9	5.	226,8	186,8
Konf. interval	278,14 ± 20,99	236,56 ± 15,36	Konf. interval	223,32 ± 7,77	201,78 ± 12,46
etalon "denního nastavení" oceli pískovaný					
úhel měření 330°					
pozice měření		1.	2.		
opakování		Naměřené hodnoty [mp]			
1.		357,5	332,3		
2.		358,2	348,0		
3.		354,8	346,1		
4.		354,6	339,3		
5.		365,2	351,8		
Konf. interval		358,06 ± 5,97	343,50 ± 10,73		

Tab. 6 Naměřené hodnoty etalonu denního nastavení vyrobeného slinováním

etalon "1. kalibrační etalon" oceli pískovaný			etalon "2. kalibrační etalon" oceli pískovaný		
úhel měření 0°			úhel měření 0°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	444,2	429,1	1.	481,6	475,4
2.	451,1	443,3	2.	483,0	485,3
3.	442,4	455,2	3.	480,4	461,0
4.	444,1	435,0	4.	478,7	484,3
5.	446,3	448,7	5.	482,7	481,2
Konf. interval	445,62 ± 4,67	442,26 ± 14,49	Konf. interval	481,28 ± 2,45	477,44 ± 13,84
úhel měření 30°			úhel měření 30°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	477,5	422,5	1.	477,5	422,5
2.	460,1	431,1	2.	460,1	431,1
3.	475,3	432,2	3.	475,3	432,2
4.	466,2	424,1	4.	466,2	424,1
5.	464,9	446,6	5.	464,9	446,6
Konf. interval	468,80 ± 10,19	431,30 ± 13,25	Konf. interval	468,80 ± 10,19	431,30 ± 13,25
úhel měření 60°			úhel měření 60°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	239,6	256,6	1.	240,0	239,9
2.	217,4	263,2	2.	228,1	251,5
3.	229,0	276,5	3.	222,1	254,9
4.	245,8	261,9	4.	220,9	261,6
5.	225,5	264,3	5.	240,4	254,5
Konf. interval	231,5 ± 15,693	264,50 ± 10,18	Konf. interval	230,30 ± 13,11	252,48 ± 11,03
úhel měření 90°			úhel měření 90°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	142,4	139,8	1.	139,4	146,1
2.	137,7	140,9	2.	137,6	155,9
3.	157,7	137,3	3.	137,2	145,4
4.	138,8	124,3	4.	135,4	157,3
5.	134,4	127,3	5.	150,9	149,5
Konf. interval	142,20 ± 12,66	133,92 ± 10,55	Konf. interval	140,10 ± 8,61	150,84 ± 7,64

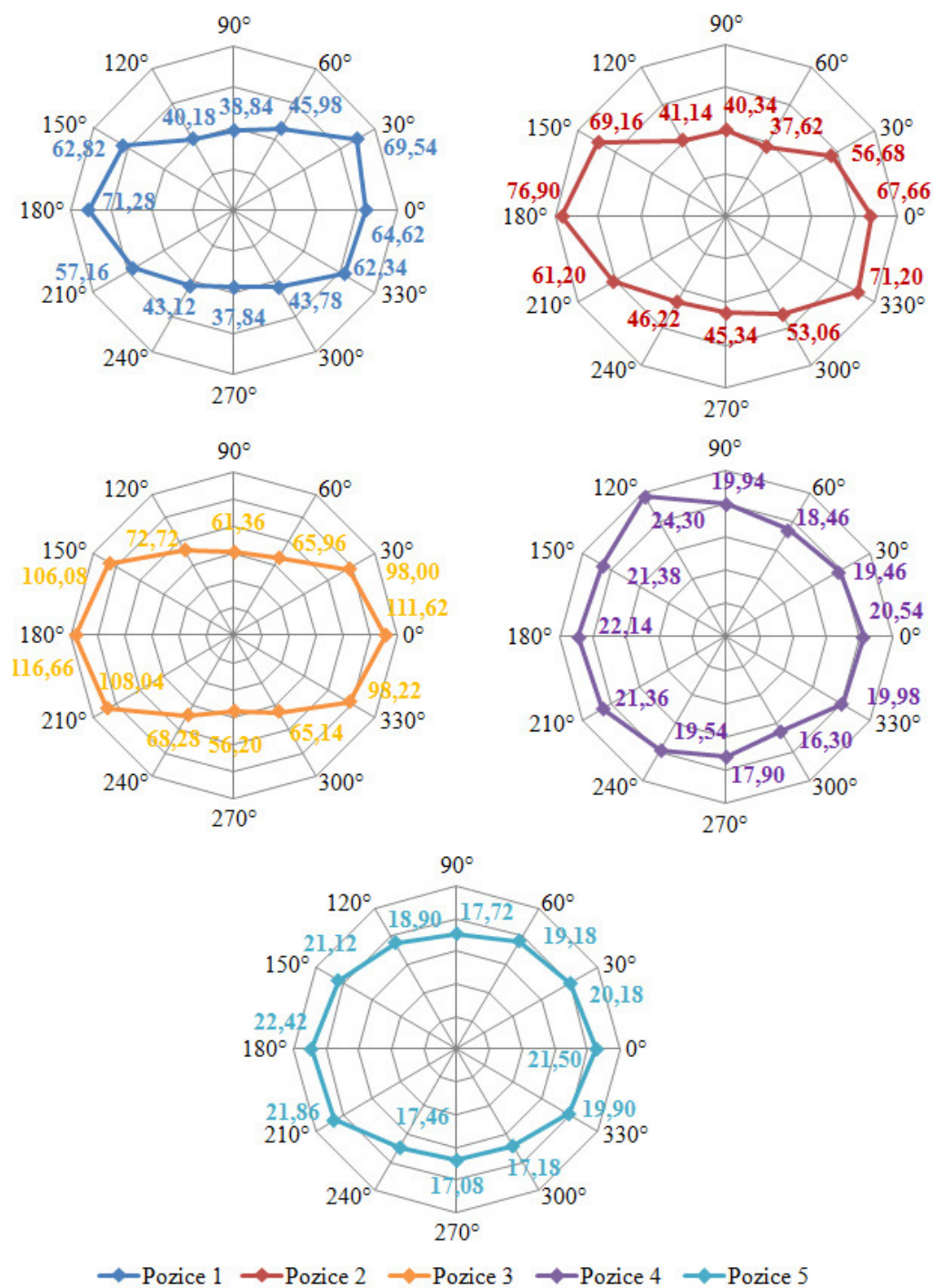


úhel měření 120°			úhel měření 120°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	141,5	112,7	1.	181,0	203,8
2.	139,3	118,4	2.	174,0	218,4
3.	132,6	136,5	3.	175,2	223,6
4.	135,4	117,9	4.	164,2	204,3
5.	134,3	138,9	5.	160,8	210,0
Konf. interval	136,6 2 ± 5,10	124,8 8 ± 16,58	Konf. interval	171,0 4 ± 5	212,0 2 ± 12,1
úhel měření 150°			úhel měření 150°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	265,1	278,2	1.	382,5	409,4
2.	264,7	272,3	2.	348,4	432,2
3.	265,5	249,3	3.	387,3	417,2
4.	240,0	244,6	4.	383,8	418,1
5.	272,5	244,9	5.	380,0	424,7
Konf. interval	261,5 6 ± 17,3	257,8 6 ± 22,38	Konf. interval	376,4 0 ± 22,0	420,3 2 ± 11,9
úhel měření 180°			úhel měření 180°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	439,0	420,2	1.	464,6	469,0
2.	427,7	426,0	2.	476,6	474,8
3.	419,4	440,2	3.	483,7	491,6
4.	419,5	433,8	4.	494,2	508,6
5.	431,2	423,2	5.	485,3	501,4
Konf. interval	427,3 6 ± 11,5	428,7 ± 11,36	Konf. interval	480,8 8 ± 15,3	489,0 8 ± 23,5
úhel měření 210°			úhel měření 210°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	388,1	399,6	1.	427,6	444,6
2.	388,1	406,8	2.	438,7	446,4
3.	393,6	392,5	3.	440,4	455,1
4.	387,5	394,1	4.	431,4	447,7
5.	388,3	395,8	5.	444,7	453,6
Konf. interval	389,1 2 ± 3,50	397,7 6 ± 7,91	Konf. interval	436,5 6 ± 9,63	449,4 8 ± 6,40

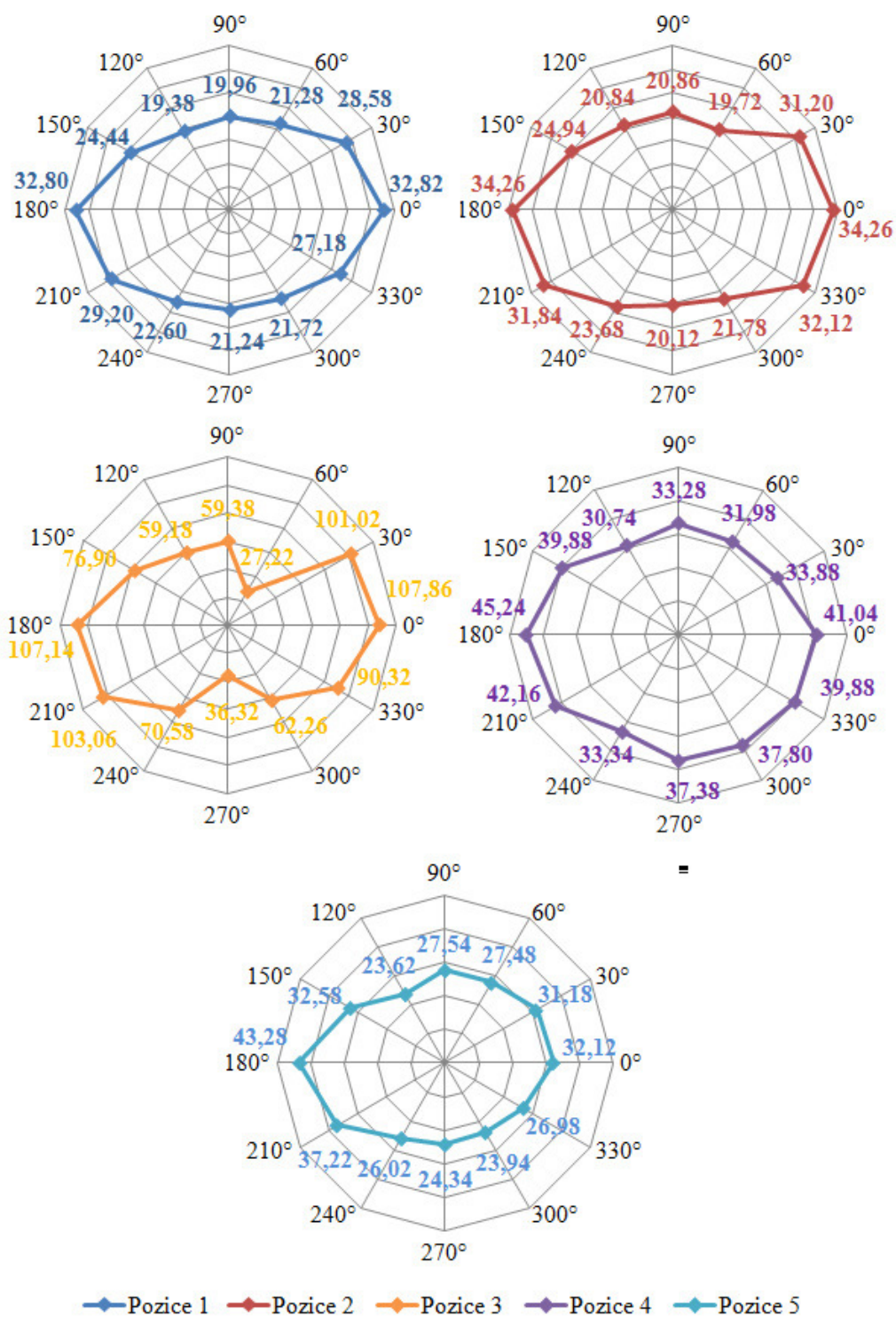
úhel měření 240°			úhel měření 240°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	243,6	213,9	1.	237,9	302,3
2.	223,2	210,2	2.	237,7	302,8
3.	257,0	206,1	3.	232,4	301,1
4.	270,8	200,0	4.	244,0	310,2
5.	267,9	226,3	5.	228,3	290,5
Konf. interval	252,50 ± 27,15	211,30 ± 13,67	Konf. interval	236,06 ± 8,29	301,38 ± 9,79
úhel měření 270°			úhel měření 270°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	147,0	148,7	1.	140,9	140,8
2.	165,5	138,1	2.	159,9	142,9
3.	159,3	140,4	3.	160,7	145,4
4.	151,0	141,6	4.	170,5	144,0
5.	143,3	151,5	5.	174,1	146,6
Konf. interval	153,22 ± 12,60	144,06 ± 7,97	Konf. interval	161,22 ± 17,93	143,94 ± 3,12
úhel měření 300°			úhel měření 300°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	173,9	204,5	1.	268,5	153,0
2.	169,3	211,8	2.	283,4	170,0
3.	170,0	205,2	3.	275,8	160,1
4.	175,3	203,4	4.	277,7	165,7
5.	183,1	225,0	5.	267,6	145,6
Konf. interval	174,32 ± 7,67	209,98 ± 12,51	Konf. interval	274,60 ± 9,17	158,88 ± 13,58
úhel měření 330°			úhel měření 330°		
pozice měření	1.	2.	pozice měření	1.	2.
opakování	Naměřené hodnoty [mp]		opakování	Naměřené hodnoty [mp]	
1.	400,6	360,9	1.	368,1	329,6
2.	404,5	361,1	2.	401,2	364,0
3.	402,5	362,4	3.	386,0	338,0
4.	407,9	375,1	4.	383,7	358,7
5.	403,0	369,1	5.	383,0	358,9
Konf. interval	403,70 ± 3,79	365,72 ± 8,64	Konf. interval	384,40 ± 16,32	349,84 ± 20,95

Tab. 7 Naměřené hodnoty 1. a 2. kalibračního etalonu vyrobeného slinováním

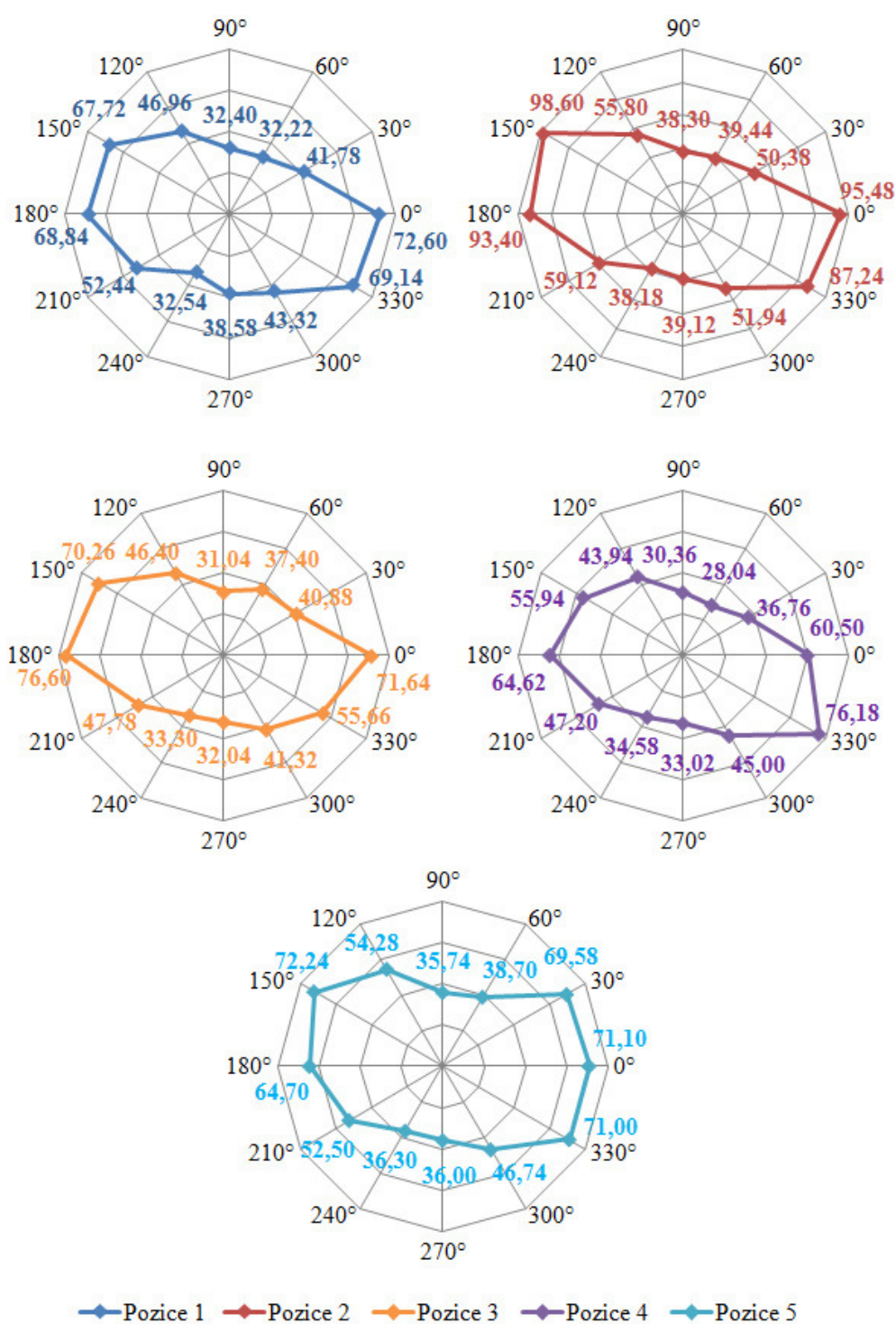
# **Příloha VI – Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty mp**



Obr. 1 Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty 1. kalibračního etalonu oceli 14109.4

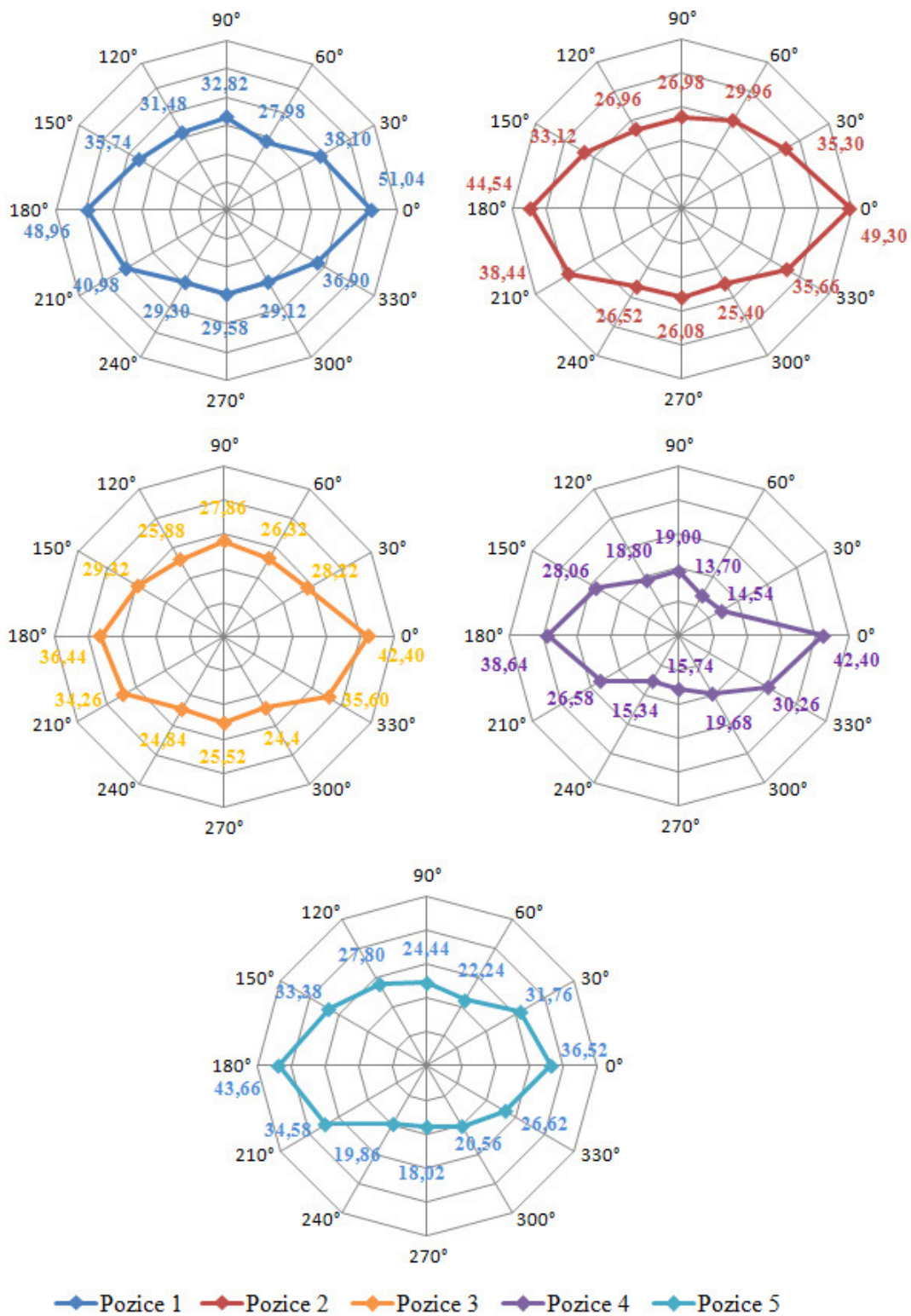


Obr. 2 Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty 2. kalibračního etalonu oceli 14109.4

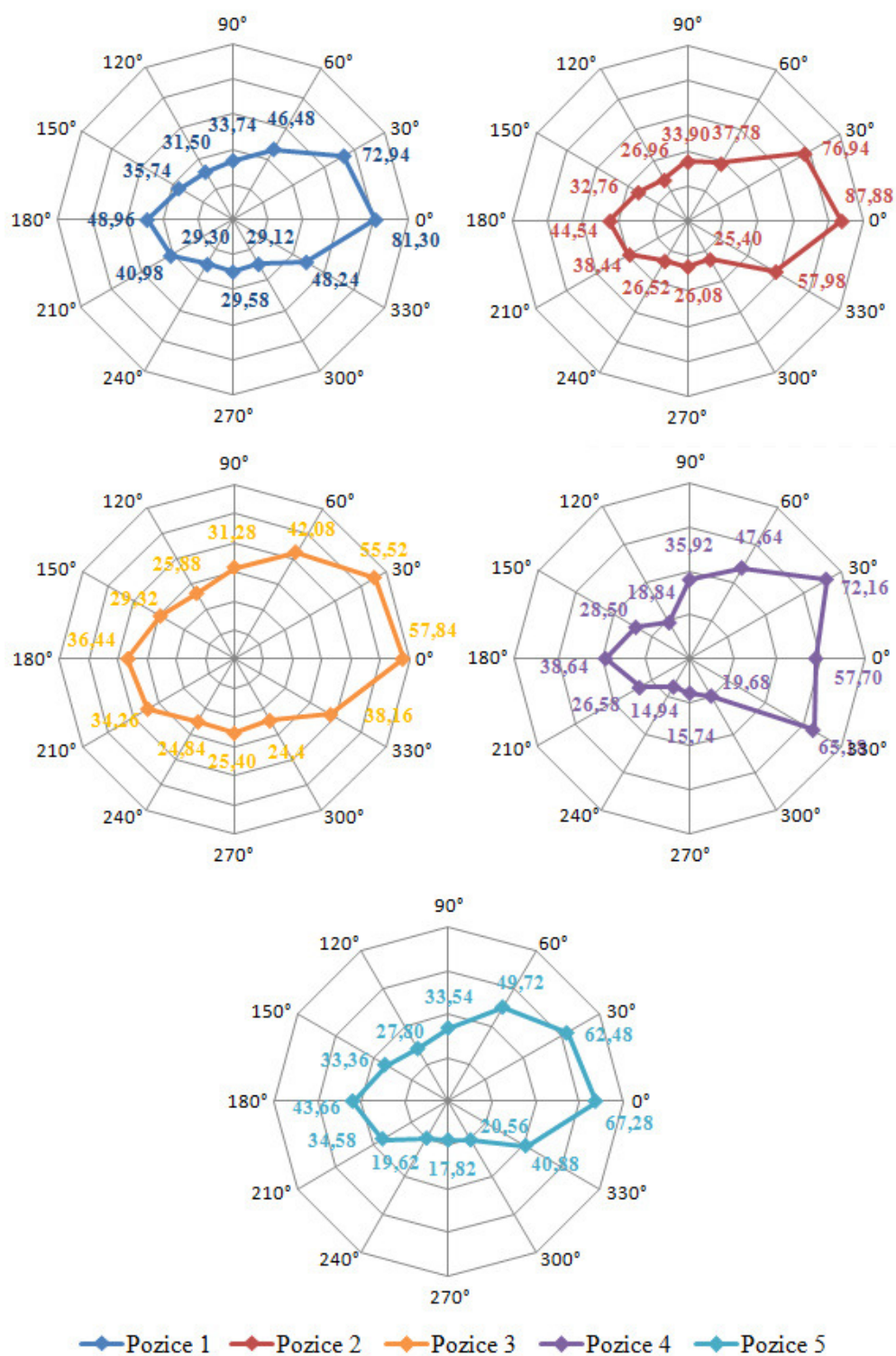


Obr. 3 Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty etalonu denního nastavení oceli 19733.4

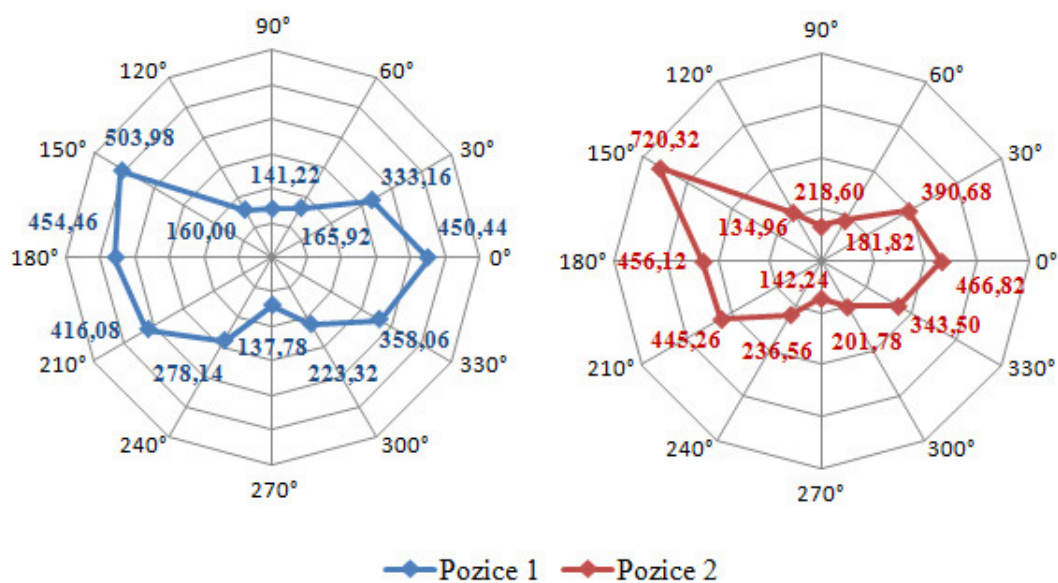




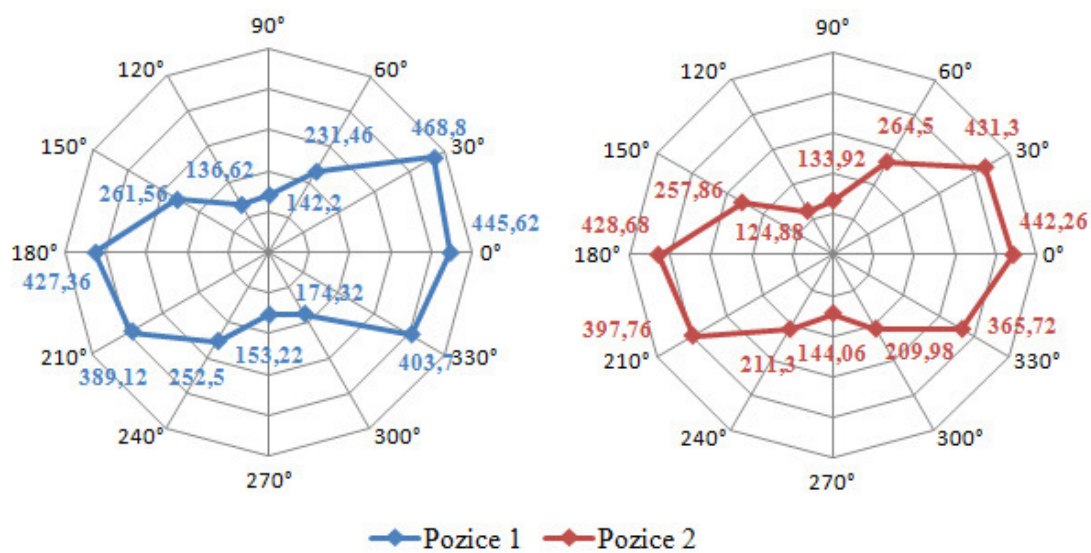
Obr. 4 Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty 1. kalibračního etalonu oceli 19733.4



Obr. 5 Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty 2. kalibračního etalonu oceli 19733.4

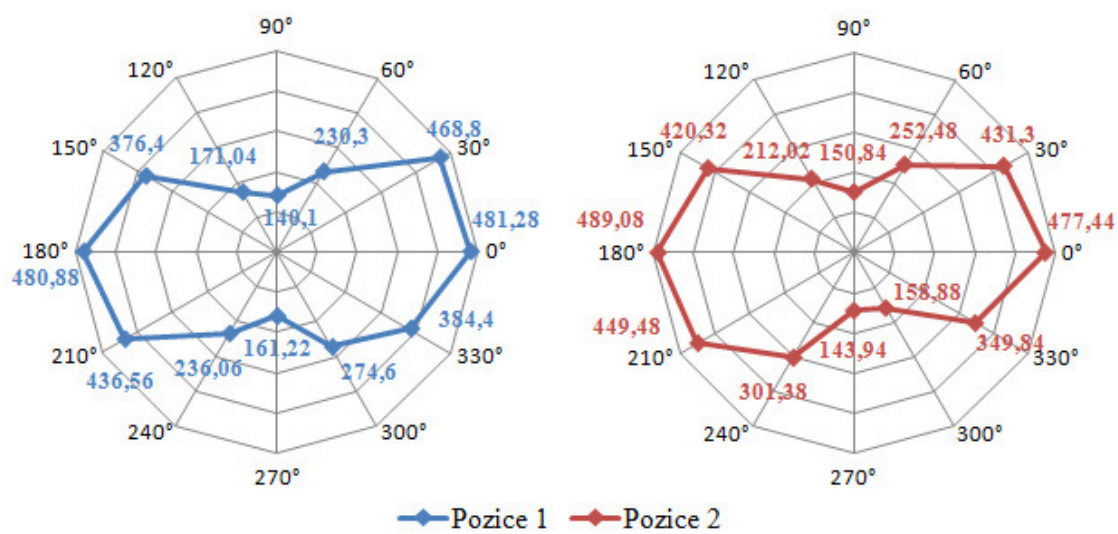


Obr. 6 Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty etalonu denního nastavení vyrobeného slinová-  
váním



Obr. 7 Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty 1. kalibračního etalonu vyrobeného slinová-  
váním





Obr. 8 Grafy vyhodnocující naměřené hodnoty 2. kalibračního etalonu vyrobeného slinivá-  
ním